15環境・安全

環境適合設計手法の標準化に関する調査研究

〈平成15年度事業 環境適合設計手法標準化分科会報告書〉

平成16年３月

社団法人 日本機械工業連合会

序

当会は、経済産業省、日本小型自動車振興会、日本自転車振興会及び関係団体のご協力を得て、昭和 50 年度以降継続して「機械工業の標準化推進事業」に取り組んでおります。

これは、わが国機械製品の内外市場での需要拡大に対応し、機械製品や部品の統一、品種の多様化、フレキシブル生産化を図り、機械工業の生産体制の高度化を通じて内外の要請に応えようとしたものであります。

近年、機械工業界のみならず、わが国の企業活動や製品のグローバル化がますます進んでいる折から、ISO、IEC などの国際規格をはじめ欧州諸国と整合性のとれた規格の制定、標準化の推進は、いよいよ緊急、かつ、重要な課題となってきております。

こうしたことから、当会の平成 15 年度の標準化推進事業では、

⑴ 環境適合設計手法の標準化に関する調査研究

「環境適合設計手法標準化分科会」の活動

⑵ 事業環境の世界標準化への対応のための調査研究

機械類の安全性「ISO/TC199 委員会」「IEC/TC44 委員会」の活動

⑶ 機種別・課題別標準化の推進

を三つの柱に掲げ、多角的な活動を行ってまいりました。

本報告書は、上記 (1) の「環境管理の標準化に関する調査研究」の「環境適合設計手法標準化分科会」の活動に関する、平成 15 年度の成果を取り纏たものであります。

本報告書が、国際標準化の進展に寄与することはもとより、広く関係各位にご高覧いただき、機械工業の標準化に対し各位の深いご理解とご協力を賜れば幸いであります。

平成 16 年 3 月

社団法人　日本機械工業連合会

会　長　　相　川　賢太郎

環境適合設計手法標準化分科会委員名簿

（敬称略・順不同）

主　査	筑波大学大学院	ビジネス科学研究科 経営システム科学専攻　教授	椿　　広　計
委　員	東京工業大学大学院	理工学研究科 機械制御システム専攻　教授	齋　藤　義　夫
同	㈱三菱総合研究所	安全科学研究本部安全技術研究部　研究員	坂　尾　知　彦
同	新エネルギー・産業技術総合開発機構 産業技術開発室　副主任研究員		増　井　慶次郎
同	㈳日本工作機械工業会	技術部長	小　林　正　彦
同	㈳日本工作機械工業会	総務部　総務課長	大　槻　文　芳
同	㈳日本建設機械化協会	規格部　部長	渡　辺　　正
同	㈳日本ロボット工業会	技術部　課長	三　浦　敏　道
同	石川島播磨重工業㈱	基盤技術研究所　機械要素研究部　部長	中　島　　隆
同	㈱荏原製作所	環境統括室　主任	金　子　一　彦
同	川崎重工業㈱	地球環境室　参事	辻　　博
同	㈱キッツ	環境安全部　部長代理	阿　部　　仁
同	㈱小松製作所	開発本部　研究企画グループ　主査	伊　藤　光一郎
同	㈱島津製作所	環境・安全推進室	川　口　重　一
同	㈱日本製鋼所	広島製作所　射出機設計部　部長	菊　川　健　治
同	パナソニック　ファクトリーソリューションズ㈱ 環境推進グループ　グループマネージャ		丸　山　　哲
同	日立建機㈱	建設システム事業部　開発設計センタ 主任技師	砂　村　和　弘
同	㈱日立製作所	産業・流通システム事業部　産業第２システム本部 チーフマーケティング　マネージャ	市　川　芳　明
同	日立造船㈱	環境・鉄構事業本部　システム本部 技術企画部　専門部長	石　井　淳　二
同	㈱不二越	製造企画本部　プロセス改革部 安全衛生環境室　室長	中　谷　恒　二
同	三井精機工業㈱	精機工場　研究部　部長	杉　崎　俊　朗
同	三菱化工機㈱	業務本部　総務部　法務広報課　部長代理	中　村　光　彦
同	三菱重工業㈱	技術本部　技術企画部 生産システム革新グループ　主席部員	鈴　木　惣　一
同	㈱日本エーイーパワーシステムズ　技術顧問		福　田　輝　夫

同	㈱日立製作所	電力･電機開発研究所　環境プロジェクト ソリューション開発グループ　主任研究員	下　田　　誠
事務局	㈱イー エム エス ジャパン	コンサルティング部　製品担当部長	林　　政　克
同	㈱イー エム エス ジャパン	コンサルティング部部員	足　立　華　織
同	㈳日本機械工業連合会	標準化推進部　部長	石　坂　　清
同	㈳日本機械工業連合会	標準化推進部（前部長）	新　堀　裕　一
同	㈳日本機械工業連合会	標準化推進部	宮　崎　浩　一
同	㈳日本機械工業連合会	標準化推進部	舞　田　靖　司
同	㈳日本機械工業連合会	標準化推進部	岩　田　　実

環境適合設計手法標準化分科会 WG1 委員名簿

（敬称略・順不同）

主　査	㈱三菱総合研究所	安全科学研究本部安全技術研究部研究員	坂　尾　知　彦
委　員	筑波大学大学院	ビジネス科学研究科	
		経営システム科学専攻　教授	椿　　広　計
同	新エネルギー・産業技術総合開発機構		
		産業技術開発室　副主任研究員	増　井　慶次郎
同	㈳日本建設機械化協会	規格部　部長	渡　辺　　正
同	石川島播磨重工業㈱	基盤技術研究所　機械要素研究部　部長	中　島　　隆
同	㈱荏原製作所	環境統括室　主任	金　子　一　彦
同	㈱小松製作所	開発本部　研究企画グループ　主査	伊　藤　光一郎
同	㈱島津製作所	環境・安全推進室	川　口　重　一
同	㈱日本製鋼所	広島製作所　射出機設計部　部長	菊　川　健　治
同	日立建機㈱	建設システム事業部　開発設計センタ	
		主任技師	砂　村　和　弘
同	三井精機工業㈱	精機工場　研究部　部長	杉　崎　俊　朗
同	三菱化工機㈱	業務本部　総務部　法務広報課　部長代理	中　村　光　彦
同	㈱日立製作所	電力・電機開発研究所　環境プロジェクト	
		ソリューション開発グループ　主任研究員	下　田　　誠
事務局	㈱イー エム エス ジャパン	コンサルティング部　製品担当部長	林　　政　克
同	㈳日本機械工業連合会	標準化推進部	宮　崎　浩　一
同	㈳日本機械工業連合会	標準化推進部	岩　田　　実

環境適合設計手法標準化分科会 WG2 委員名簿

（敬称略・順不同）

主　査	東京工業大学大学院	理工学研究科 機械制御システム専攻　教授	齋　藤　義　夫
委　員	筑波大学大学院	ビジネス科学研究科 経営システム科学専攻　教授	椿　　広　計
同	㈳日本工作機械工業会	技術部長	小　林　正　彦
同	㈳日本工作機械工業会	総務部　総務課長	大　槻　文　芳
同	㈳日本建設機械化協会	規格部　部長	渡　辺　　正
同	㈳日本ロボット工業会	技術部　課長	三　浦　敏　道
同	㈱荏原製作所	環境統括室　主任	金　子　一　彦
同	川崎重工業㈱	地球環境室　参事	辻　　博
同	㈱キッツ	環境安全部　部長代理	阿　部　　仁
同	㈱島津製作所	環境・安全推進室	川　口　重　一
同	パナソニック　ファクトリーソリューションズ㈱	環境推進グループ　グループマネージャ	丸　山　　哲
同	㈱日立製作所	産業･流通システム事業部　産業第２システム本部 チーフマーケティングマネージャ	市　川　芳　明
同	日立造船㈱	環境･鉄構事業本部　システム本部 技術企画部　専門部長	石　井　淳　二
同	㈱不二越	製造企画本部　プロセス改革部 安全衛生環境室　室長	中　谷　恒　二
同	三井精機工業㈱	精機工場　研究部　部長	杉　崎　俊　朗
同	三菱重工業㈱	技術本部　技術企画部 生産システム革新グループ　主席部員	鈴　木　惣　一
同	㈱日本エーイーパワーシステムズ　技術顧問		福　田　輝　夫
事務局	㈱イー エム エス ジャパン	コンサルティング部　製品担当部長	林　　政　克
同	㈳日本機械工業連合会	標準化推進部	宮　崎　浩　一
同	㈳日本機械工業連合会	標準化推進部	岩　田　　実

目　　次

序

分科会委員名簿

WG1 委員名簿

WG2 委員名簿

1. はじめに …… 1

2. 環境適合設計を取りまく状況 …… 2

2.1 工作機械に関する環境指針づくりと機械工業分野への展開 …… 2

2.2 環境適合設計に対する研究・調査の動向 …… 10

2.3 標準化の動向 …… 14

3. 機械工業分野の特徴の明確化に関する研究 …… 19

3.1 機械工業分野の環境適合設計指針(評価項目)の調査研究の結果 …… 19

3.2 機械工業分野の特徴 …… 31

3.3 環境適合設計の評価項目に関するアンケート調査結果 …… 44

3.4 “機械工業分野向け代表的な環境適合設計・評価項目”
の各項目に対するアンケート結果の使い方と使用範囲 …… 46

3.5 各工業会でのセクトラルな指針作成へのアプローチの実施例 …… 48

4. 環境適合設計の評価・支援ツール …… 86

4.1 取組み概要 …… 86

4.2 環境要求と環境影響の関連の明確化 …… 89

4.3 多段遠心ポンプへの適用事例 …… 100

4.4 建設機械への適用事例 …… 139

4.5 QFDE と LCA の比較 …… 149

4.6 まとめ …… 157

5. まとめと今後の課題 …… 160

1. はじめに

我が国機械工業界の設計開発技術者に有用な環境適合設計の基本的な考え方とツールはどのようなものであるべきかを紹介し、環境適合設計指針に対する我が国機械工業界のポジション形成に寄与することを狙いとして ㈳日本機械工業連合会が環境適合設計に関わる調査研究を開始して、早いもので 3 年になる。初年度のライフサイクルアセスメント（LCA：Life Cycle Assessment)、環境適合設計（DfE：Design for Environment）ツール調査や国際標準化動向調査から、2 年目の品質機能展開（QFD：Quality Function Deployment)、環境適合設計のチェックリスト検討などを通じて、生産財としての産業用・工作用機械の環境側面が徐々に明確になってきた。

この一連の研究が進められた 3 年間は、国内外で環境適合設計に関する標準化が一挙に加速した時期である。小生が主査を引き受けたときには、この種の調査研究が 3 年にわたり続くとは予想していなかった。しかも標準化に資するアウトプットが出るものにまで発展するとは、率直に申し上げて予想していなかったことは、今から考えると不明の至りである。すでに ISO TR 14062（通称 環境適合設計ガイド：ISO DfE ガイド）に対応する包括的な標準情報（TR）としての「環境適合設計」は 2003 年 7 月に日本工業標準調査会から発行され、これを各産業分野別の規格に落とし込む動きが始まっている。また、電気電子製品分野では、この産業別規格作成の主導権を巡って欧州と日本の駆け引きが激化している。この種の標準化の動きについては、本報告書の第 2 章で報告されている。

さて、このような状況の下で今年度は、環境適合設計手法標準化に資する研究に焦点をあて、分科会に 2 つの WG を設置し研究を進めてきた。一つの WG は、東京工業大学の斎藤義夫教授を主査とし、機械工業分野の環境適合設計の特徴を明確にし、機械工業分野での環境適合設計指針に必要な設計評価項目を明らかにした。これについては、第 3 章で報告されている。もう一つの WG は、㈱三菱総合研究所の坂尾知彦博士を主査とし、環境適合設計の評価・支援ツールとして検討を進め、特に、QFD の機械工業分野における適用可能性の検証作業や LCA と QFD との関係性についての整理と理論武装を行った。これについては第 4 章で報告されている。第 5 章では、本研究のまとめと今後の課題が示されている。

実際の規格原案作成作業は、産業界のみならず一般社会からの要請を配慮したものにすること、経営層や環境マネジメントシステムとの関連性を明確にすること、など更に検討すべきことは多い。しかし、機械工業界の設計技術者の立場で考慮し、主張すべきことについては、本報告の中で論理的にとりまとめられたのではないかと考える。この種の手順を踏んだ技術的検討に基づいて、環境適合設計の標準化方向が明確になるのは稀なことではないかと自負しており、本報告書のオリジナルな主張については、その研究を担当した委員によって、国際的に情報発信されることも切望している。

さて、当該分野の専門家とは程遠い小生が責任者であったにも関わらず、このような立派な成果が上がったのも、ひとえに本分科会に参画した委員の方々と事務局の皆様の献身的な努力によるものである。心から御礼申し上げると共に、本報告書が機械工業界の多くの方々に活用されることを期待する次第である。

環境適合設計手法標準化分科会主査
筑波大学大学院ビジネス科学研究科教授
椿　　広　計

2. 環境適合設計を取りまく状況

2.1　工作機械に関する環境指針づくりと機械工業分野への展開

㈳日本工作機械工業会は環境に対する社会的な問題意識のたかまりを考慮して、平成 7 年度より「工作機械の環境安全対策に関する調査研究」を開始し、3 年間にわたり、工作機械の環境負荷について調査を行い、工業会としての環境関連課題に関して検討を実施した。自動車産業、家電産業において ISO14000 シリーズの認証取得が盛んになり始めた時期であり、これらの産業の生産技術を基盤から支えている工作機械も環境問題は避けられない課題との認識からである。

当初は、工場内でフル稼働している工作機械が大量のエミッションを排出し、環境負荷が大きいとの先入観があり、ISO14000 シリーズや LCA の考え方を理解して、対応策を講じることに主眼が置かれていた。ところが、調査研究を進めていくと、ISO の規格は企業モラルを規定するものであり、欧州の戦略的な意図がうかがえること、また LCA の手法も未解決の課題を内包しており確立した手法とは言えず、環境負荷を正確に把握して議論できる状況ではないことが明らかになった。

さらに、上記調査研究は平成 10 年から「環境対応型工作機械に関する調査研究」に引き継がれ、さらに 3 年間にわたり、生産財である工作機械の特性、特徴に焦点をあてて、環境対応へ転換するための技術課題について抽出を行った。両方合わせて 6 年間、工作機械の環境への影響について調査研究を実施し、環境に関する指針を作るとともに、環境評価設計マニュアル、工作機械用 LCA について新しい提案を行った。

これらの活動を通して、工業会として工作機械の環境問題に関する意識をたかめ、環境関連技術の発展に貢献したといえる。そこで、ここでは工作機械に関して得られた成果[1), 2)]を簡単に要約し、機械工業分野への展開の可能性について検討を加える。

2.1.1　工作機械の環境負荷に関する調査研究

工作機械の LCA に関しては、これまで具体的な適用例がなく、十分な統計資料がない状況で議論されていたため、高稼働率で生産現場において活躍していることが大きな環境負荷に直接結びつき、環境に悪いとの誤解を招いていた。これは、煤煙や汚水を撒き散らして環境汚染が問題とされた昔の工場のイメージが残っていることも原因している。確かに、製造工程、加工工程は、基本的にはエネルギーや資源を投入して製品、部品に変換する過程であり、エミッションを発生し、エネルギーを消費することは必然的である。ところが、最近の工場を調査してみると、クリーンでアメニティを重視した工場が多く、オフィスと同じ作業環境を実現している例や敷地内を公園として開放して住宅地域との共存を実現している例などもある。

これまでは精度のよい分析が行われずに、工作機械を悪者にされていたことは明らかで、工作機械のライフサイクル全体を詳細に調べてみると、重量比で 95％以上は故銑としてリサイクルされており、色々な面で工作機械自体は非常に環境にやさしい製品であることも確認されている。耐用年数が 10 年、20 年と長く、古くなってもレトロフィットされて、海外の生産拠点で再利用される例や中古機として転売され例も多く、解体業者によって処分される割合は少ない。大量に生産し、大量に消費・廃棄される製品とは明らかに異なり、生産財としての工作機械は環境負荷が小さく環境にやさし

い一面がある。

実際に LCA ソフトを工作機械に適用した例について紹介する。**図 2.1** は小型マシンニングセンタを対象に、ライフサイクルを考慮して各段階の CO_2 排出量を市販の LCA ソフトウェアの原単位を用いて試算した一例である。製造時(素材製造)及び廃棄時(リサイクル)の CO_2 排出割合が多く、両者の和が使用時の CO_2 排出量より多くなり、当初の予測と大きくかけ離れた結果になった。耐用年数が長く、24 時間フル稼働している実情を考えると、使用時の環境負荷が圧倒的に大きいと予想していたのであるが、LCA の結果は明らかに異なっている。この原因を詳細に分析してみると、次のことが確認された。

(1) 一般の電気製品などを製作するときの統計量を原単位としているため、鉄の塊である工作機械の製造時と廃棄時の環境負荷が誇張されて計算されていること。

(2) 使用時の電力消費は明確に計算されるが、加工時に使う切削油剤や切りくずなどの処理にかかる費用が明らかでなく、過小評価されていること。

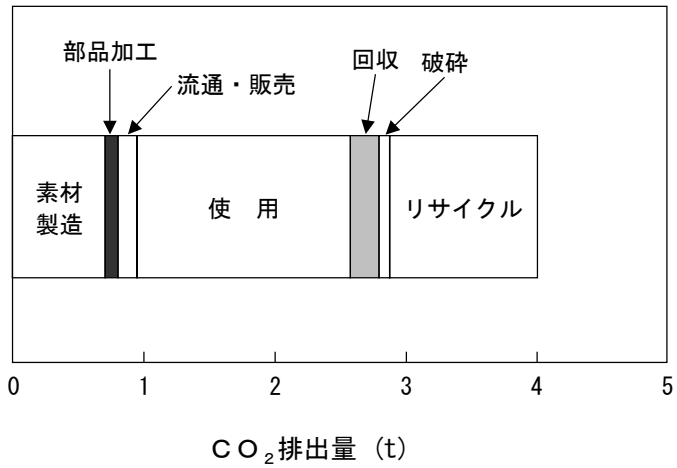


図 2.1 小型マシニングセンタの CO_2 排出量

以上のように、既存の LCA ソフトでは大量生産されている製品の分析を中心に種々のデータが蓄積されているため、工作機械のように受注生産的な製品に単純に適用することは問題であるといえる。たとえば、海外からの調達が増えている鋳物部品について、具体的な鋳物工程の環境負荷割合を定量的に分析することが必要である。また、日本ではあまり切削油剤の廃棄に神経質になっていないが、欧州で問題視している油剤の環境負荷を正確に見積もることが不可欠であり、工作機械の LCA を実際に行うためには、原単位に関するデータベースの構築、整備が急務である。

2.1.2　工作機械の環境評価設計マニュアルの作成

家電製品をはじめ種々の分野において、環境性配慮設計(環境適合設計)が提唱されており、生産性設計、組立性設計と同様に設計初期段階で検討が加えられている。東芝機械は早い時期にこの環境性設計を工作機械に適用し、ISO 14001 の認証も取得をしている。また、㈱日立精機も早い段階で自社の評価指標を定め、定性的に環境性設計を適用している。このように、工作機械の設計においても環

境の観点から設計を見直す傾向が増加している。ところが、家電メーカなどが市販している LCA ソフトのように、環境負荷を定量的に算出して評価する方法は、前述したように、工作機械に適用するためには解決すべき課題が多く、そのまま利用することは難しい。

そこで、ここでは工作機械に適した方法として、環境に関する評価項目とその評価基準について、ガイドラインの作成を検討した。環境対応型工作機械の環境評価設計マニュアルとして手順を簡単にまとめる。

⑷ 環境評価設計の適用段階

環境評価設計を適用する段階は、基本的にはどの段階でも構わない。概念設計の段階でも詳細設計の段階でも評価することが肝要で、いずれかの段階で必ず環境に関して検討を加えることが望まれる。適用する段階に応じて、その評価指標をかえることも可能であり、後述するように評価基準を工夫することが必要である。

⑸ 環境評価項目の設定

実際の環境に関連した評価項目は、各企業において各機種に適合するように自主的に決めるものであるが、ここでは目安として大項目を 4 つ次に示す。各項目間を明確に区別することは難しく、実用の際には、対応状況にあわせて中、小項目に細分する必要がある。

① 省エネルギー：電力消費量、潤滑油等使用量、エア消費量など
② 省資源：減容、減量、梱包の合理化、使用材料の明記、リサイクル材利用など
③ 分解・解体性：分離性、分別性、メンテナンス性、回収性、処理性など
④ 情報開示：製造情報、使用材料明記、回収処分情報などの開示・明記など

⑹ 評価基準の設定方法

評価の際に必要となる数値に関しては、比較検討できるように、各環境評価項目に対して採点の基準を設けることが重要になる。ISO 14000 シリーズでは具体的な数値目標は示されておらず、常にスパイラルアップするように、努力目標を定めることが指示されていること、また、LCA の統計データも完全なものではないこと、などの理由から、基準値の設定は評価する側に委ねられているといえる。そのため、初期の段階では参考となる例をもとに、取り敢えず試算することが大切で、得られた数値を少しずつリファインすることが ISO 14000 シリーズの趣旨に合致する。

以上のように、総合的に評価するためには、環境評価設計を積み重ねることが必要であり、評価結果の信頼性を上げるにはスパイラルアップの過程が不可欠である。まずは、各社、各機種に適した環境評価設計マニュアルの作成が先決であり、決めやすいものから具体的に目標を定め、段階的に発展させていくことが運用上重要であると考える。

2.1.3　工作機械の資源生産性・環境効率に関する検討[3)]

ⓐ　生産財に関連した産業における資源生産性・環境効率について

㈳日本工作機械工業会では、業界としての情報を整備するとともに工作機械メーカの実情を常に把握している。その資料によると、工作機械以外にも多種類の産業機器や機械部品を生産しており、工作機械だけを別個に抽出することが難しい点がある。モノづくりの主役である工作機械に関しては、産業分野として区分しにくいこと、企業形態としても明確な定義がしにくいこと、などの理由で、統計量を明確にしにくい。ところが、産業ごとに資源生産性・環境効率を考慮することの重要性は今後ますます増大し、具体的な指標を明示することにより、産業分野としての開発目標を策定することが社会的にも重視されると考えられる。

特に生産設備は初期投資額が大きいため、経済状況によって大きく変動し、不況のときは設備投資が真っ先に削減されることになる。そこで、モノづくりを支える工作機械などの生産設備に関しては、産業間あるいは企業間における環境負荷割合が比較でき、資源生産性・環境効率の視点から評価が行われることにより、産業、企業戦略や経営目標がたてやすくなるとともに、国の政策的な課題も提示することが可能になる。

ⓑ　工作機械関連の産業、企業を対象とした資源生産性 ***Eall*** の考え方

産業別、企業別の指標を概略的に求めるには、次のような統計量を用いるのが簡便と考える。

Eall ＝（産業別生産額）／（産業別エネルギー消費量）

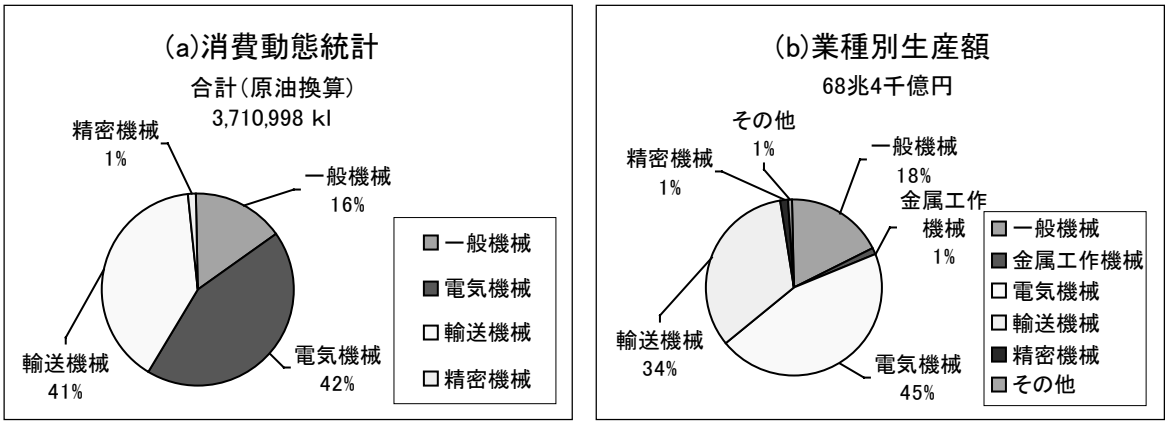


図 2.2　産業別統計量による比較

図 2.2 は 1999 年度の資料をもとに産業別に生産額と消費動態統計を比較した例で、全体に対する比率は生産額も消費動態統計もほぼ同じあることが確認できる。工作機械は生産額は 1%弱で、消費動態も同じ割合であり、他の精密機器と比較しても同様の対応が認められる。生産額に対応してエネルギーも消費されており、この数値が資源生産性を概略的に表す指標として利用できると考えられる。ただし、生産額の中に製品の機能、性能などサービスの質が反映されているか、については議論する必要がある。

(c) 生産財としての工作機械における検討事項

日本はこれまで工作機械の主要輸出国であるが、工作機械が提供するサービスを適正な製品価格で販売しているかについては言明できない。価格が性能、機能を代表しているとは一概にいえず、サービスの質は経済状況や産業構造のバランス状態に影響され、金額に反映されないという問題点があることは周知のとおりである。大量に生産され、一般家庭で使用、消費される製品では、サービスの質は妥当な価格で評価されるが、製造業で利用される生産設備は、産業全体の景気に依存し、単純に異なる産業間の比較を行うことは難しい。

製造工程における生産方法は一義的に決められないため、安く早く良いものをつくる場合と付加価値の高い工程の場合で、資源生産性・環境効率の考え方も異なる。

モノづくりの基盤である工作機械は、基本的にエネルギーや資源を使い、工業製品を生み出しているもので、工作機械が提供するサービスを明確に定義することは困難である。大量消費される製品の場合は、機能や性能が価格と対応して明確に定義できるが、生産財である工作機械の場合には、それで作った製品の特性、性能を考慮する必要があり、付加価値をどのように生み出すかが重視されるため、工作機械が対象とする製品に依存しており、工作機械の性能向上が正しく評価されない場合が起り得る。

図 2.3 に示すように、工場製造工程において、工作機械は多大なエミッションを放出していることは事実であり、この観点から資源生産性・環境効率の向上を問われるのは必然といえる。ところが、工場から出荷された工業製品の使用時における環境負荷は、この工作機械の性能に大きく影響されているといっても過言でない。自動車や洗濯機の製造時に直接影響するとともに、その使用時に対しても工作機械が間接的に影響することになり、自動車の性能が工作機械により向上すれば、当然排気ガスの削減に大きく貢献することになる。

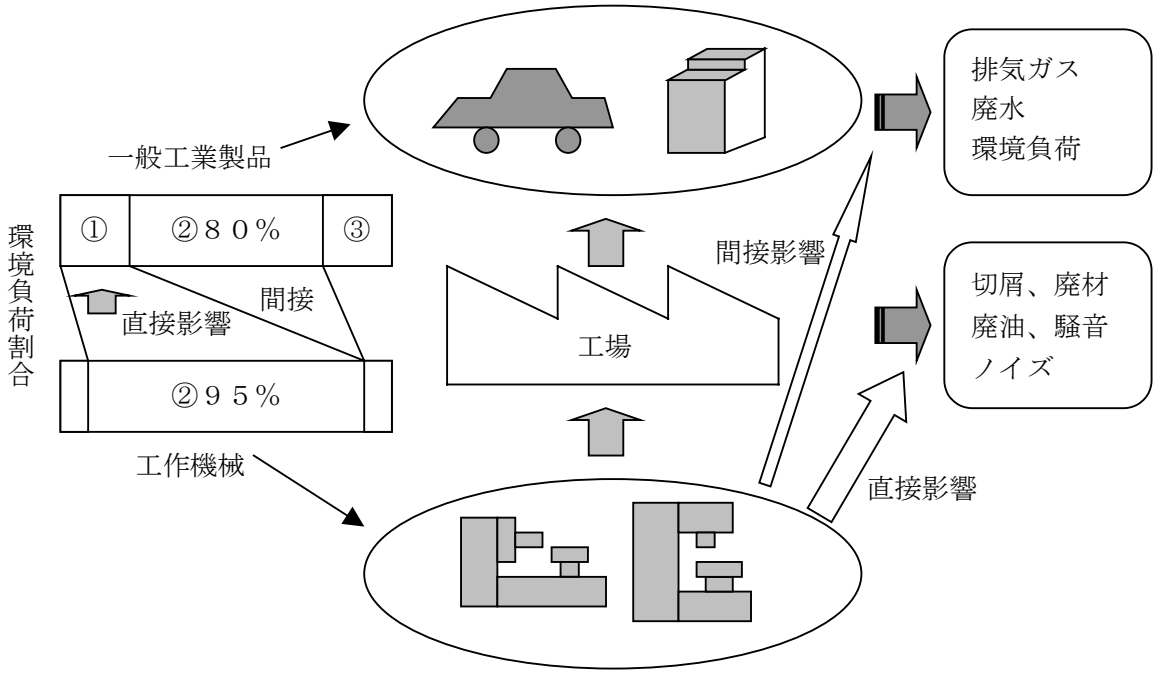


図 2.3　生産財としての工作機械と消費財の関連

また、洗濯機の例を挙げれば、節水形洗濯機として洗濯槽をステンレス製に変更すると、ステンレスの加工は難削材であるため、加工に多くのエネルギー消費とエミッション放出が伴うことになる。ところが、加工しにくい材料であることは、逆に機械的強度の増大を意味し、薄肉構造の軽量化が実現できることになり、洗濯槽の高速回転を可能にする。そして、寿命も延び、効率も向上し、洗濯機の使用時の水や洗剤の消費を大幅に削減できる結果に結びつく。洗濯機の製造時の環境負荷は増大するが、洗濯機の使用時、廃棄時の環境負荷がその増大を補うほど削減できる事例である。この例で、工作機械が担う役割を工業製品の性能まで拡張して検討しないと、節水形の洗濯機が示した環境効率の向上は工作機械と切り離されて議論される可能性があり、工作機械だけに環境負荷の増加分が責任として押し付けられることになってしまう。この点を念頭において工作機械の資源生産性・環境効率を議論することが肝要である。

2.1.4　生産財としての工作機械の評価項目

生産財という特徴を考慮して、工作機械に対する入力として考慮すべき項目は、資本金、生産設備（工場など建造物も含む)、マンパワー（間接、直接)、エネルギー（空気源、油圧源、空調などを含む)、素材、原料、工具、切削油剤、などが挙げられる。これに対して出力については、製品（半製品、仕掛かり状態)、廃棄物(不良品、切りくず、廃油)などが考えられ、これらの項目をもとに資源生産性・環境効率を吟味する必要がある。

図 2.4 は加工サイクル中の電力消費を比較した例であり、関連する技術とその省エネルギー効果を模式的に示したものである。機械加工の場合、工作機械だけでなく周辺機器も利用されるため、高速化が達成されると、高速化により電力は増大するが、加工時間が短縮されるため、周辺機器の電力消費が削減され、全体として省エネルギー効果が上がる。一方、油剤を使わないドライ加工、あるいは極微少量の油剤を用いるセミドライあるいは MQL 加工は、クーラントポンプなど周辺機器の使用が不要になり、さらに環境負荷の大きい油剤の使用量を大きく削減できるため、環境効率は向上するものと期待されている。

また、従来の加工方法とは全く異なる新しい加工法が開発された場合、加工時間は長くても資源生産性・環境効率から評価に値する可能性も考えられる。エミッションを極端に低減した製品の製造方式が実現できれば、飛躍的な環境効率の改善に結びつくことから、エミッションフリーマニュファクチャリングに関するフィージビリティスタディが具体的に実施されている。

工作機械自身は丁寧に精度よく製造されており、耐久性に優れている。寿命が長く、10 年とも 20 年ともいわれ、レトロフィットされていつまでも利用されている。そして、廃棄時は重量比で 95％以上が故銑として鋳物材料に再生されているので、リサイクル性も高く環境効率の良い一面がある。ところが、使用時の生産工程ではエネルギーを大量に消費し、エミッションを大量に発生しながらモノづくりすることになり、この部分だけを対象とすると環境効率は悪くなってしまう。

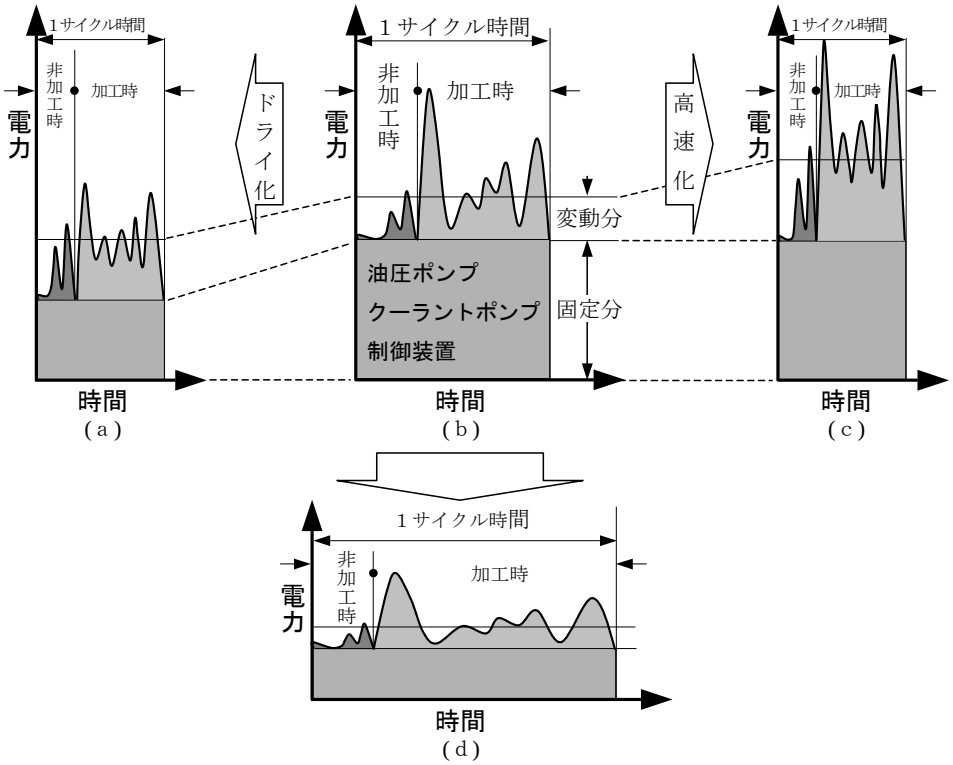


図 2.4　加工 1 サイクル中の電力比較と省エネ効果

2.1.5　工作機械の製品レベルにおける資源生産性 *Ei* の考え方

工業製品として工作機械をとらえると、利用できる統計量はあまり整備されていないが、概略試算例として次式が考えられる。

$$Ei = (\text{性能, 機能, ｻｰﾋﾞｽ, ｼﾅﾘｵ}) \,/\, (\text{投入資源, ｴﾈﾙｷﾞｰ, ﾏﾝﾊﾟﾜｰ, ････})$$

工作機械などの生産財と一般の消費財では性格が異なるので、この相違点を把握した上で検討する必要がある。工作機械の利用形態などを取り入れたシナリオを想定すること、システムバウンダリーを広げ二次的・波及的効果を考慮すること、が重要である。製造メーカが使用する素材、原材料と一般消費者が使う工業製品ではサービスの意味する内容が明白に異なる。ユーザについても最終ユーザとしての一般消費者か、二次生産者側かで、影響の及ぶ範囲が違うことになる。

そのため、評価項目は工業製品ごとに定める必要があり、次の 2 点が基本として重要である。

(1)　入力は製品そのものに費やされた費用総額で代表値として利用する。

(2)　出力は製品特有の性能、機能に合わせて考える。

以上のことから、大衆消費財の対極にある工作機械のような生産財では、工作機械が製造する製品の特性・性能を考慮することが不可欠であり、二次的・波及的効果を取り入れた資源生産性・環境効率の考え方が提案されることを望みたい。生産財は生産設備という位置付けで大切に利用されることも加味して、ある意味で無駄に余分に製造され廃棄される消費財とは区別して、資源生産性・環境効率について議論すべきと考える。

2.1.6　工作機械と機械製品の比較と機械工業分野への提言

本節では、㈳日本工作機械工業会で実施してきた工作機械に関する環境指針づくりについて説明を行うとともに、生産財である工作機械の資源生産性・環境効率に対する考え方を紹介した。ここでは、工作機械と機械工業分野の製品とを比較して、環境適合設計との関連について簡単に考察してみる。

工作機械では生産性設計と組立性設計を中心に検討が行われ、最近では環境性配慮設計を考慮する傾向であることを前述したが、機械工業分野の製品についても同様である。目標仕様を達成するために、あらゆる角度から効率や生産性を考慮して、機械工業製品の設計がなされている。良いものを安く、早く作ることは当然の目標であり、これに追従して関連技術の発展が行われてきたが、機械工業分野では電気電子工業分野と比較すると、環境性に対する議論が遅れているといえる。

この原因として、工作機械の場合と同様に、機械設計の基本は無駄なく効率よく製品を作ることを目標にしており、環境性を直接意識しなくても自から環境にやさしい設計に結びついていたことが挙げられる。これに対して、パソコンや携帯電話のように、機能の向上が著しく製品寿命が短い電子関連製品では、短いサイクルで製品を大量に生産し頒布することを重視して設計が行われており、新製品の投入により廃棄される旧機種については等閑視されていた。ところが、旧機種を新品の状態で大量に処分せざるを得ない状況は明らかに無駄が多く、環境に対しては良いとはいえない。そのため、負のイメージを解消するために、3R を基本とした JEITA のガイドラインが提示されたのではないかと、憶測したくなる状況である。

機械工業分野と電気電子工業分野では、製品の持つ特徴や背景が異なるため、着眼点も違ってくるので、上記のような相違は容認せざるを得ない。しかし、環境に対する社会的な要求は明確な目標に向かっており、世界的な動向として環境適合設計の必要性は確実に増大している。そこで、JEITA との相違点を明確にして機械工業分野の特徴を把握した上での環境適合設計を提案することが急務と考える。

特に、機械工業分野における設計は工作機械の場合と類似していることから、従来の設計工程で分析、検討していた内容は、環境の観点からも高く評価できると予想される。効率を重視した設計、生産性を考慮した設計、性能を向上した設計などは、基本的にはすべて環境適合設計に対応付けることが可能であり、3R の項目に置き換えられると考える。設計段階での評価項目を環境性の観点から見直しして、環境適合設計として強調することが今後の重要な課題といえる。

＜参考文献＞

1）斎藤義夫ほか：平成 11 年度先端技術動向調査「環境対応型工作機械に関する調査研究」報告書 ㈳日本工作機械工業会、(2000.3)

2）斎藤義夫ほか：平成 12 年度先端技術動向調査「環境対応型工作機械に関する調査研究」報告書 ㈳日本工作機械工業会、(2001.3)

3）山本良一ほか：平成 13 年度、環境調和型事業活動導入促進調査報告書、別冊(資源生産性)、㈳産業環境管理協会、(2002.3)

2.2　環境適合設計に対する研究・調査の動向

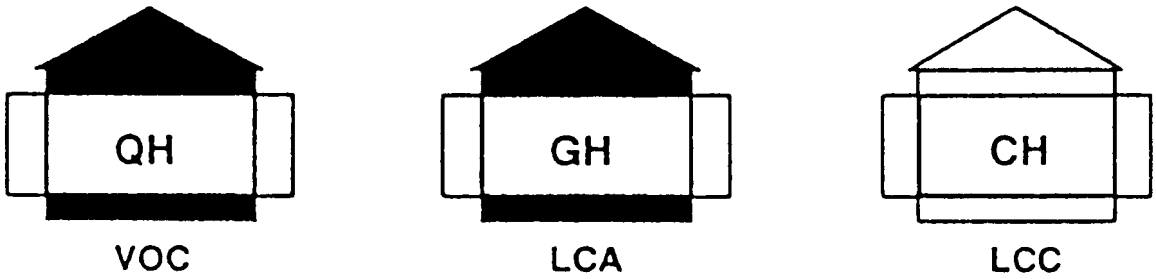
環境適合設計については、現在も手法に関する研究ならびに手法の適用に関する調査や研究が行なわれている。特に環境適合設計に利用可能な個別の手法は、多数のものが開発されており、それらは文献[1)~4)]に詳しく述べられている。適用事例は、“Going Green”というシリーズのもとに各隔年で開催されている日本での Ecodesign 国際会議[5)]と欧州での国際会議[6)]において多く発表されている。その他 CIRP[7)]や IEEE[8)]も定期的に関連会議を持っている。左記の会議の内、2003 年は、5 月にアメリカ（ボストン）で IEEE の International Symposium on Electronics & Environment が、デンマーク（コペンハーゲン）で 5 月に CIRP の International Seminar on Life-Cycle Engineering が、12 月に日本（東京）で Ecodesign 国際会議が、開催された。

本項では、品質機能展開（QFD：Quality Function Deployment）を利用した環境適合設計の手法に焦点を当てて現状を概観する。QFD を利用した環境適合設計の手法を開発している研究グループを次に挙げる。

① 米国（Florida State University）のグループ
② ドイツ（Darmstadt University of Technology）のグループ
③ オーストリア（Vienna University of Technology）のグループ
④ 我が国の（本 WG1）のグループ

特に、ドイツ、オーストリアのグループからは 2003 年の国際会議にほぼ初めて発表がなされ、QFD を利用した環境適合設計の手法開発に世界的にも期待が高まっていることを示している。各々のグループの研究内容を簡単に述べる。

まず、米国のグループは、“GQFD (Green QFD)”と名づけて、環境調和型の QFD ツール開発を行っている[9)]。具体的には、製品の要求を工学的尺度に展開する際に、製品属性を Quality、Environment、Cost のⅢ種に分類している点が特徴的である（**図 2.5** 参照）。また、環境側面に関しては、環境調和型品質機能展開（QFDE：Quality Function Deployment for Environment）を実施する前に半定量的な LCA を行い、LCA の結果を要求に相当する情報として入力している。



QH：Quality House　　GH：Green House　　CH：Cost House
VOC：Voice of Customer　　LCA：Life Cycle Assessment　　LCC：Life Cycle Cost

図 2.5　品質、環境、コストの 3 種類に分けた展開

次にドイツのグループは QFD へ LCA ツールである EI99（Eco Indicator 99, Pre Consultants)の結果を取り込む手法を開発中である[10]。環境に関する知識を豊富に有していない製品設計者が、環境側面の情報を比較的容易に取り込むことを目的として開発されている。QFD を実施した結果は、環境側面、品質側面で製品内の部品を特徴付けしている。具体的には、環境側面の要求と工学的尺度から得られた部品の重要度と、品質側面の要求と工学的尺度から得られた部品の重要度を 2 次元のマトリックス上にプロットして視覚化している（**図 2.6** 参照)。

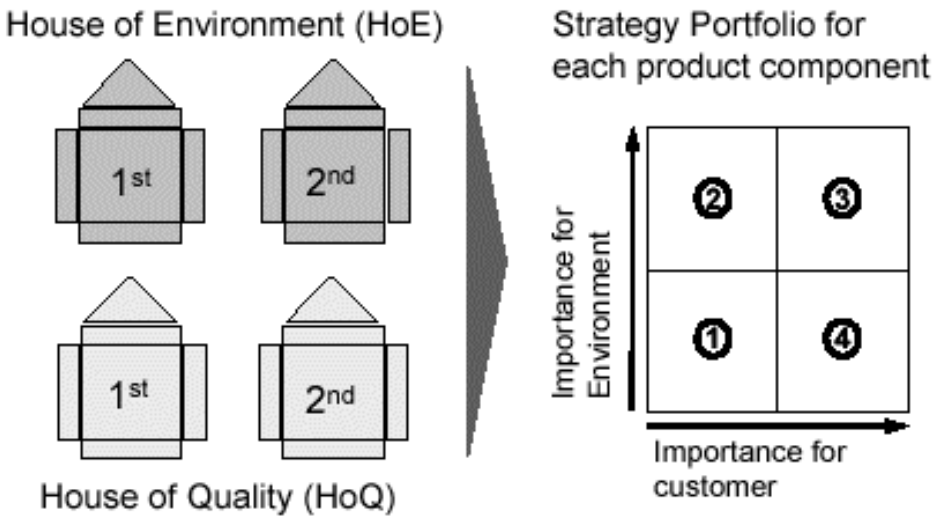


図 2.6　環境側面と品質側面の重要度の表示

第 3 に、オーストリアのグループの手法を述べる。当グループは、LCA をベースとした環境適合設計のためのツールを開発していた。“PILOT”（Product-Investigation-, Learning- and Optimization- Tool）と呼ばれるこのツールはフリーで配布されている。当グループは LCA をベースとした改善を補完することを目的として、PILOT に QFD モジュールの取込みを行なっている[11]（**図 2.7** 参照)。例えば LCA の結果、製品の環境側面の改善のために、「使用段階のエネルギー消費を減らせ」という要求はしばしば上がってくるが、「リサイクル率を上げよ」といった「顧客視点」の要求は上がってこないという点を補おうとするものである。

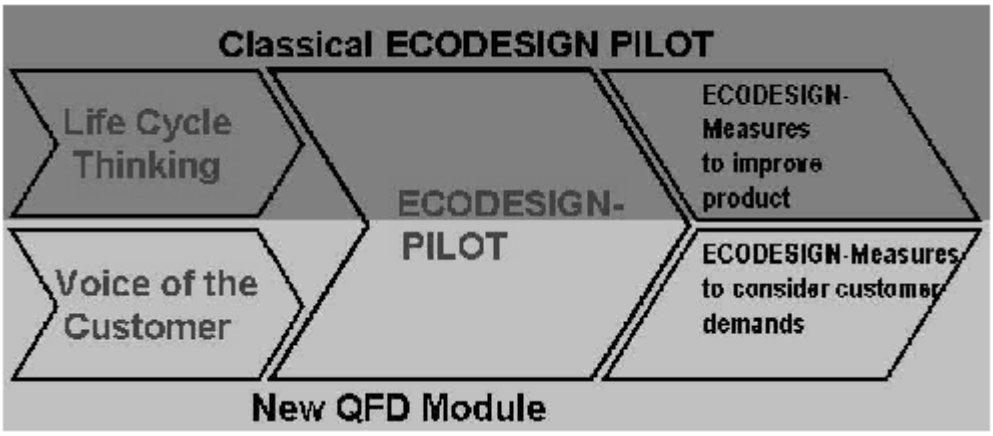


図 2.7　ECODESIGN PILOT への QFD モジュールの組み込み

本 WG1 の研究グループは QFD に環境側面を取り込んだツール[12)]を QFDE と呼んで研究を行っている。**図 2.8** に示すように実際の製品開発の中では、最も上流の段階で QFDE を適用し、他の段階では LCA などのツールを適用することを念頭に置いてツール開発を進めている。現在の研究開発の状況は本報告書 **4 項**を参照されたい。

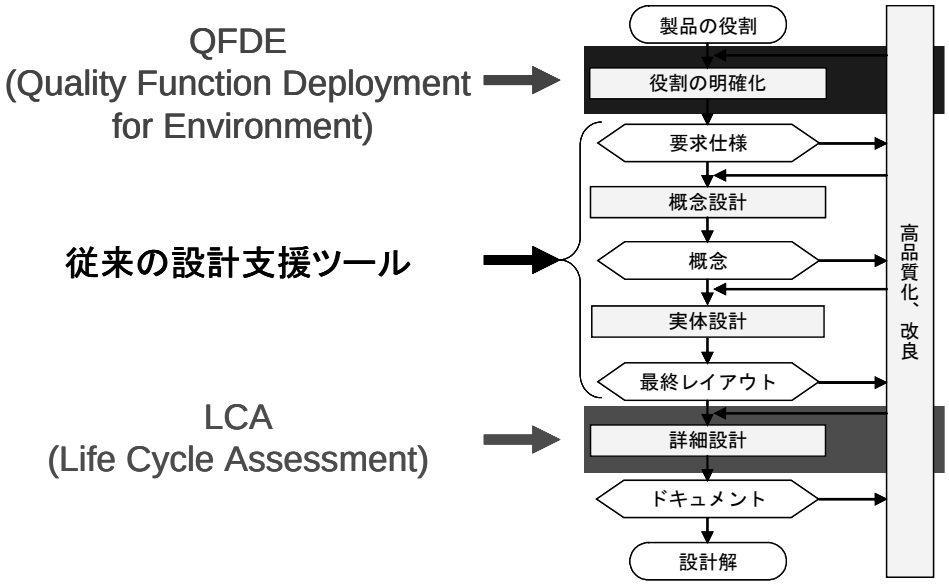


図 2.8　QFDE の設計プロセスにおける位置づけ

以上で環境適合設計に対して QFD を適用する研究の現在の状況を簡単に述べた。米国のグループは、1998 年に環境適合設計分野の国際ジャーナルに成果を発表し、他のグループよりも一歩先んじている感がある。我が国のグループは 2003 年に国際ジャーナルに成果を発表しているが、ドイツとオーストリアのグループからのジャーナルペーパは現在のところ見られない。

研究内容を鑑みると、以下の点で本 WG1 の QFDE に関する研究は技術的な独自性を有する。

① **4.5 項**に示すように、LCA の結果をそのまま QFD に取り込むのではなく、LCA と QFDE の両者の結果を相互補完的に扱う（米国とドイツのグループは LCA の結果をそのまま QFD に取り込むスタンスを採用している)。

② **4.5 項**に示すような、LCA と環境調和型 QFD の結果の比較検討を行い、相互の類似性を検討している（他のグループでは見られない)。

上記より、本 WG1 の研究は技術的な独自性も比較的高いものと考えられ、今後環境関連分野の国際学会で発表する予定である。

参考文献

1）J. Fiksel：Design for Environment, (Mc Graw Hill), (1996).

2）山際　康之：組立性・分解性工学, (工業調査会) , （1997）

3）市川　芳明：環境適合設計の実際, (オーム社出版局), （2001）

4）H. Kobayashi : A Method of Life Cycle Planning for Product Eco-Improvement, International Journal of Environmentally Conscious Design & Manufacturing, Vol. 8, No. 4, 2000, pp.27-37.

5）Eco Design Union, Eco Design 2001: Second International Symposium on Environmentally Conscious Design and Inverse Manufacturing, (IEEE Computer Society), (2001)

6）Care Electronics : International Symposium on Care Innovation´2002, (2002)

7）CIRP : 9th CIRP International Seminar on Life-Cycle Engineering, (2002)

8）IEEE : International Symposium on Electronics and the Environment, (2003)

9）Y. Zhang et al. : International Journal of Environmentally Conscious Design & Manufacturing, Vol.7, No.3, pp.1-15, 1998.

10）M.Ernzer et al. : Proceedings of The Third Intl Symposium on EcoDesign, 2003.

11）W. Wimmer et al. : Proceedings of 10th CIRP seminar on life cycle engineering, ISBN 87-91035-01-5, pp. 201-205, 2003.

12）K. Masui, T. Sakao, M. Kobayashi, A. Inaba: Applying Quality Function Deployment to Environmentally Conscious Design, International Journal of Quality and Reliability Management, Vol. 20, No.1, pp. 90-106, 2003.

2.3　標準化の動向

2.3.1　規格化の動向

2002 年 11 月 1 日の環境適合設計に関するテクニカルレポート ISO TR 14062 の発行を受けて、我が国ではこれを翻訳し 2003 年 7 月 1 日に、標準情報 Q0007 として発行した。この標準情報の有効期限は 5 年間である。なお、日本工業規格、並びに標準情報は、http://www.jisc.go.jp/app/pager のデータベース上で閲覧可能なので、具体的内容はそちらを参照されたい。ISO テクニカルレポートの発行に伴い、本案件を審議していた ISO TC207 WG3 は解散した。環境適合設計に関する標準化は、今後、製品分野別ガイドラインにウェイトが移行するものと考えられる。事実、**2.3.3 項**で詳しく述べるが、欧州電気産業の一部は積極的に ISO TR 14062 の意図を尊重したと称する「規格案」の作成並びにその国際規格化を仕掛けている。

さて、現在 ISO 14000 シリーズのコア規格である、ISO 14001、14004 の改訂作業が最終段階に近づいている。今回の改訂は、ISO 9000 シリーズとの整合性を向上させると共に、「従来の EMS（Environmental Management System）が、組織の直接関係する環境影響の管理に主軸があったのを、組織活動が間接的に関連する環境影響にも焦点を与えていること、が特徴である。これを通じて、メーカーならば製品設計などの環境側面も、EMS の中により強く位置づけられることが期待される。これらを狙った環境マネジメントは、POEM（Product Oriented Environment Management）と呼ばれており、EMS を本業回帰させる一つの指針と考えられている。

環境適合設計に関して、欧州委員会企業総局は、2003 年 8 月 1 日に EuP 指令（“Eco Design Requirements for Energy Using Products”）案を欧州委員会に提出した。今後 1～2 年で採択される可能性が強い。EuP は、いわゆる「枠組み指令」であり、施行後に欧州規格あるいは国際規格に基づく施行措置が定められることになる。対象製品は、エネルギーの投入により機能するあらゆる製品（輸送機器を除く）となっているが、さらに、指令の対象となる製品分野を特定した上で、１）製品のライフサイクル全般の環境影響を包括した DfE 要求を出すか、あるいは　２）特定の環境影響に限定した DfE 要求を出すことでエネルギー効率を最適化した環境配慮製品を欧州に流通させようというものである。上述したように、現在、欧州の一部産業が LCA を行わない国際規格原案を ISO TR 14062 の製品分野別規格（TR ではない）として ISO や IEC に Fast Track（大幅に審議を省略）での制定を呼びかけている。これは、ISO/IEC 規格制定によって欧州規格が「特定の環境影響」に絞り込んだ内容に限定されざるを得なくなることを狙った政治的動きである。㈳日本機械工業連合会では、2003 年 6 月 24 日に、ブリュッセルで EU 関係の情報収集に当っている覚道　崇文氏による EuP 指令に関わる講演会を開き、最新の状況を紹介した[1)]。

＜参考文献＞

１）覚道　崇文：「EU の環境政策をめぐる最近の動向（機械産業に影響を与える可能性のある新しい提案を中心に）」、(社)日本機械工業連合会セミナー資料、2003

2.3.2　JISC の動向

2.3.2.1　全体動向

日本工業標準調査会 標準部会環境・資源専門委員会は、2002 年 4 月に環境 JIS 策定促進のアクションプログラムを制定し、2002 年 5 月に標準部会傘下の 26 技術専門委員会に環境 JIS 策定中期計画に基づく規格の策定並びに調査研究の実施、分野別環境配慮整備方針の策定を要請した。このアクションプログラムの目的は、3R 配慮製品、省エネルギー機器などの普及、製品有害物質対策、環境汚染対策などの環境配慮を目的とした標準化の推進である。2002 年 12 月には内閣官房が「循環型社会構築に資する規格の策定」を施策として示した。2003 年 5 月には上記アクションプログラムが改定され、機械分野 20 件を含む 207 件のテーマによる JIS 策定中期計画が策定された。このテーマの中に環境配慮設計(環境適合設計)に関わるものは、10 件となっている。さらに技術分野別の 20 の環境配慮規格整備方針が示された。この中には産業機械技術分野、産業オートメーション技術分野などが含まれている。

2.3.2.2　主な技術専門委員会の活動状況[1)]

⑴　産業機械技術専門委員会

① 環境・資源循環専門委員会から出された、「環境 JIS の策定促進のアクションプログラム」を受けて、「分野別環境配慮規格整備方針の策定」の検討を行うため、関連産業会の現状に関するアンケート調査を行った。

② このアンケート調査の結果と、すでに取組みを進めている状況などを勘案し、産業機械技術分野の環境配慮規格の課題を示した。このうち関連する内容は次の通りである。

(i) 環境側面を製品の設計・開発に組み入れるためのガイドライン

(ii) 製品規格に環境側面を導入するためのガイドライン

③ 産業機械技術分野の分野別環境配慮規格整備方針として、次を示している。

(i) 環境側面を製品の設計・開発に組み入れるためのガイドラインや評価・性能基準については、すでに、いくつかの団体で先行して取組みが進められている。具体的には、㈳日本建設機械化協会などが上げられる。

今後、他の産業界でも ISO TR 14062 を基礎としてそれぞれの分野で同様なガイドラインの作成が期待される。このことも考慮して、ISO の指針を基礎とした機械工業分野の包括的なガイドラインを検討する。

(ii) 製品規格に環境側面を導入するためのガイドラインは、環境配慮設計指針との関わりが深いと考えられ、③ (i) のガイドラインの内容を勘案しつつ検討することが適当である。当面、装置的な、又は移動式の産業機械分野で検討することが望ましい。

⑵　産業オートメーション技術専門委員会

本技術専門委員会では、先ず、傘下の工業会に対し現状把握のため、環境に対する問題意識、現状の取組み状況、今後の方針等についてのアンケート調査を実施した。本アンケート結果では、

概ね、① 各工業会では、環境問題については年々関心が高まっている。② 環境に関する各種調査研究〔環境対応形工作機械に関する調査研究（㈳日本工作機械工業会)、PRTR 制度にあわせた業界ガイドラインの策定（㈳日本ロボット工業会)、エミッションフリーマニュファクチャリングの調査研究（㈶製造科学技術センタ)〕などを行ってはいるものの、規格化・規準化を前提とした活動には至っていない。③ 今後は、自主的・積極的に取り組んでいく認識を持っている。との現状が浮き彫りとなった。

このアンケート結果を踏まえ、本技術専門委員会にて検討を行い、環境配慮規格整備方針として次の通りまとめられた。

⑷ 既存及び開発中の ISO 規格、JIS 規格については、改訂及び審議の際、環境配慮に関する部分（項目）を検討し、適宜盛り込むように努力する。

⑹ 各工業会で行われている環境に関する調査研究の成果について、国際規格化又は JIS 化を念頭に置いた標準化調査研究を行う。

⑹ （設計－製造－生産－回収－分解－リサイクル及びリユース）などの生産活動のフローにおいて、機器、プロセス、工場（プロセス群)、工場（設備）のライフサイクル及び製品ライフサイクルにおける 3R（Reduce, Reuse, Recycle）を考慮した環境配慮規格化項目の検討を行う。

また、中期的計画に基づく規格の策定及び調査研究の実施については、各工業会より次の項目について今後、標準化及び調査研究を推進していくこととなった。

・工作機械設計アセスメントガイドラインの作成　〔㈳日本工作機械工業会〕
工作機械の環境保護の観点から省エネルギー、3R、処理容易性、環境保全性、包装資材、情報提供、などの各評価項目を例示し、設計の際の自主評価ガイドとする。

・工作機械の環境試験方法－消費エネルギーの測定方法－の作成　〔㈳日本工作機械工業会〕
工作機械電気消費エネルギーを把握するために動作条件など（自動車における 10 モード試験に類するもの）などを規定する試験方法を開発する。

・環境適合設計に対する評価基準等についての調査研究事業など　〔㈳日本ロボット工業会〕
環境適合設計に関する評価項目（省エネルギー、3R、処理容易性、環境保全性、包装資材、情報提供、など）及びそれらの項目に対する評価基準についての調査研究を実施する。

・3R を考慮した環境パフォーマンス評価情報モデルの調査研究事業
〔㈶日本情報処理開発協会〕
工場の操業によって使用される資源、エネルギー及び排出される廃棄物を把握して評価改善を行う環境パフォーマンスの検討を行う際に、設備更新、保全活動が与える影響を考慮した工場設備の運用管理法をガイドする方法論確立のための調査研究を行う。

＜参考文献＞

1）日本工業標準調査会 環境・資源循環専門委員会：平成 15 年度環境 JIS の策定促進のアクションプログラム(改訂)、平成 15 年 4 月

2.3.3　電気電子分野の標準化動向

電気電子産業界における環境適合設計規格標準化の方向性については、我が国は IEC（国際電気標準会議）の ACEA（環境諮問委員会）で国際ガイドを策定し、それを日本工業規格とするという戦略をとっている。この中で主要な活動は 2 つあり、一つは、ISO TR 14062 に対応する ECD（Environmental Conscious Design）ガイドの作成、もう一つは IEC Guide113 の後継ガイドとしての MD（Material Declaration 製品に含まれる有害物質の調査票）ガイドの標準化である。

すでに ECD ガイド案策定については、2003 年 3 月に、我が国独自の 3R（Reduce, Reuse, Recycle）という基本理念に沿った ㈳電子情報技術産業協会（JEITA : Japan Electronics and Information Technology Industries Association）のガイドラインを基に独自のガイド案骨子を ACEA WG3 に提出している。2004 年 3 月には、ACEA の全体会議の中でガイド案がほぼ固まってゆくことが予想されている。我が国は、このガイドの中では ISO TR には触れられていない、環境影響ごとの設計評価のチェックリストに当たる部分のドラフティングの責任をおっている。ただし、3R の考え方自体は必ずしも欧米では一般的でないため、2003 年 11 月の ACEA WG3 の議論を受けて当該部分の構成は次のように変化している。

また、MD ガイドについても、JGPSSI（グリーン調達調査共通化協議会）が発案した、電気電子機器の含有化学物質材料開示調査に関する共通の国際ガイド作成が、欧州 EICTA（欧州情報通信技術製造者協会）及び米国 EIA（電子工業会）との論議の中で 3 極の合意がとりまとめられつつあり、2003 年秋には最終原案作成が終了している。この合意の中で日米は欧州の主張にかなり歩み寄ることになり、日米は既に最終原案を承認しているが、いかなる理由か、欧州の承認が遅れている。

さて、この 2 つの標準化活動の阻害要因が昨年 5 月頃から急速に発生した。

先ず、DfE ガイドについては、ISO TR 14062 発行直後の 2003 年 12 月に、ヨーロッパの情報機器産業のメーカー団体から ECMA341 “Environmental design considerations for electronic products”という業界規格が発行した（この規格は、参考文献 1）のホームページよりダウンロード可能である）。この規格は、ISO TR 14062 に準拠した電気電子製品分野規格と主張されているが、包括的な環境配慮というよりは、当該製品の規制すべき環境影響を絞り込むことに狙いがある。この ECMA341 を早期に国際規格にするという策略が、次のように数次にわたり行われた。

(1) 2003 年 3 月の IEC ACEA で ECD ガイドを作らず、ECMA を直ちに規格として発行すればよいという意見表明である。これは、ACEA には規格を発行する権限がないこと、日本が JEITA のガイドラインの英訳版や ECD ガイドの骨子案を示し、国際的な議論の必要性を主張し、欧州・韓国などの支持も受け、IEC 独自のガイドを作ることが議決された。

(2) ECMA（ヨーロッパ電子計算機工業会）は 2003 年 6 月の ISO TC207（ISO 14000 シリーズの原案作成委員会）のバリ総会を目指して、同専門委員会の CAG（委員長の諮問委員会）に ISO TC207 が ECMA341 を Fast Track(最終国際規格案段階に直接提案するプロセス)で国際規格化すべく審議せよと申し入れた。我が国には事前に、ISO TR 14062 の原案作成委員長であった韓国の Lee 教授よりこの情報が連絡され、ISO TC207 CAG のメンバーである、経済産業省管理システム規格課 吉村室長が、IEC で規格ではなくガイドを作ることが議決されている以上、先ず IEC での議論を優先すべきだと主張し、各国のコンセンサスを得た。

(3) IEC の ECD ガイド作成に当たっては、2003 年 5 月の各国の作業分担締め切りに対して、日本以外の国が殆どまともな作業を行わないばかりか、ACEA WG3 主査も催促のようなことを

一切怠っていた。その後、主査が ECMA 規格を国際規格化する運動の一員だったことが分かり、2003 年 11 月の会議では、我が国は主査交替も含めた厳重抗議と最終審議の場を WG3 から ACEA 本体に移すことなどを主張し、執筆管理と分担を徹底し、2004 年 1 月には、細部には問題があるが原案 0 次ドラフト作成にこぎつけた。この間には、我が国 ACEA 関係者 特に、唐門氏（ソニー)、佐藤氏（リコー)、坂本氏（日本 IBM、現在グリーン調達調査共通化協議会）などの献身的な作業があった。

(4) ECMA は、その後 2003 年 8 月には、IEC TC108「IT 通信技術分野の電子機器の安全性」に ECMA341 を Fast Track 案件として提案した。現在の TC のスコープでは、これを審議することはできないし、専門家もいないという常識論もあり、TC108 は参加国に TC のスコープ拡大も含めて本件を認めるか否かを訊ねている段階である。我が国は、TCxx 国内委員会と連携をとり、これに反対するとともに、少なくとも Fast Track 案件にはならないように申し入れをしている。ただ、わが国はまだ察知できていないが ECMA はこれ以外に 2、3 の IEC TC に同様の働きかけをしている模様である。

(5) ECMA は、ISO TMB（Technical Management Board）に ISO が ECMA341 を Fast Track で審議することを要請し、TMB 議長は 2004 年 2 月に行われる TMB にその要請を審議事項に取り上げた模様である。我が国は、TMB では特に主張はしないが、事前に反対の意思を TMB メンバーに送付した。

ECMA のこの性急な動きは EU のニューアプローチを意識したものである。特に、EuP の施行規則として参照されることになる欧州規格を ISO/IEC 国際規格としての ECMA 規格に整合させることを狙ったものといえる。今後、同種の動きは様々な製品分野で起こる可能性があり、注意を要する。経済産業省は、ECMA のこの一連の動きに対して、ECMA に参加している日本企業委員から申し入れできないかとも考えているようである。

さて、MD ガイドについても、欧州特にドイツ産業界の突出した動きが見られる。ドイツでは、日米欧の 3 極で合意されつつある、日本案（米国賛同）「一つの部品全体で物質名と量を聞く rolled structure 形式」ではなくて、欧州自動車工業会提案に合わせるため、部位ごとの物質名と量を聞く形の detail structure 形式に基づいて、物質情報の提供を求めることを、電子電気に限らず、全産業界で合意し、2003 年 5 月頃これをドキュメンテーションのあり方を審議する IEC TC3（TC3 委員長はドイツ、幹事はスウェーデン）に Fast Track で扱うように提案したが、幹事などの難色でこれは一度は退けられた。しかし、ドイツはこの原案を 2003 年 8 月にはドイツ国家規格（DIN19220 Procedure for declaration of materials in products of the electrotechnical and electronics industry）として発行し、2004 年 1 月再度 DIN 規格を国際規格とする Fast Track 投票を行うよう TC3 に提案し、TC3 はスコープの変更や専門家の補充を行うこともせずに、本件の投票を開始してしまった。我が国は、ACEA において、一貫してドイツ案と 3 極合意案とを調整した形での IEC 規格作成をドイツに呼びかけ、ドイツもそのようにするとの回答であったが、結果的には反故にされたことになる。現在、TC3 各国メンバーに本件への反対を呼びかけている段階である。

＜参考文献＞

１）http://www.ecma-international.org/publications/standards/Ecma-341.htm

3. 機械工業分野の特徴の明確化に関する研究

(1) 環境適合設計に関しては、これまで電気電子分野のような消費財を主体に検討が行われ、機械工業分野のような生産財を対象に、検討が行われた例は見当たらない。

そこで、電気電子分野のような消費財の環境の評価項目に対して、機械工業分野のような生産財の環境の評価項目がどのように異なっており、どのような評価項目を追加する必要があるかにつき検討することを計画した。昨年度は、JEITA のガイドの中に示される各評価項目について、機械工業分野との相違に関するアンケート調査により、電気電子分野の評価項目との相違に関する調査研究を行い、それらの結果を纏めた[1)]。

(2) 本年度は、引き続き、生産財としての機械工業分野の製品に適用する環境適合設計の指針（評価項目）の作成を具体的に行い、それらを通して、機械工業分野の特徴づけを明確にした。

3.1 機械工業分野の環境適合設計指針（評価項目）の調査研究の結果

3.1.1 調査研究の進め方

機械工業分野の製品は、“通商産業省(現 経済産業省)監修の機械情報産業総覧[2)]”の製品分類に代表例を示す通り、小形製品から、プロセス装置のような大形製品までの広範囲にわたっている。このような、機械工業分野の製品に関して、当初から、すべての製品を網羅した環境適合設計の指針(評価項目)の調査研究を行うことはきわめて難しい。

そこで、今回は、WG2 の委員の企業で、委員が関与する製品を対象とした範囲で調査研究を行った。この調査研究の範囲を示す対象製品の製品名を**表 3.1** に示す。

今回の調査研究は、WG2 及び WG2 幹事会委員へのアンケート調査とその結果に対する WG2 及び WG2 幹事会の会合での討議によって進めることにした。

なお、本分科会としては、当初、**表 3.1** に示す機械工業分野の製品全体を対象にするとその範囲が広く、その範囲全体の評価項目の検討を行うのは難しいと考え、第一段階として、**表 3.1** の製品分野をさらに絞って、機械工業分野の代表的な製品である“工作機械や産業用ロボット”を取上げ、それらの製品を中心とした評価項目の検討を行い、第二段階として、**表 3.1** に示す範囲の機械工業分野全体の製品に関する評価項目の検討を行った。

最終的に、**表 3.1** に示す範囲での機械工業分野の代表的な評価項目を求めることができ、また、それらに関するアンケート調査結果が得られて、さらに、それを通して、所期の機械工業分野の特徴づけが明確化できたので、本報告として、それらの結果を次に記載した。

表 3.1　委員が関与する製品名

委員 No.	委員が関与する製品名※1
①	環境装置
②	風水力機械
③	原動機
④	風水力機械
⑤	分析機器
⑥	重電機器
⑦	産業用ロボット
⑧	金属工作機械
⑨	金属工作機械
⑩	金属工作機械

※1：製品名は、通商産業省 (現 経済産業省)監修の
“機械情報産業総覧”記載の製品分類に基く

3.1.2　調査研究の経緯と主な結果

(1) 昨年度の調査研究で、JEITA のガイドの中に示される各評価項目に対する機械工業分野の相違の検討を行い、平成 14 年度調査報告書[1)] で、それらの結果を、表 4.2 に“環境適合設計に関するアンケート調査結果”として生データで記載している。

そこで、今回は、最初に、それらの情報に基づき、機械工業分野の評価項目の素案を作成し、これら機械工業分野の評価項目の素案を、大項目、中項目、小項目に分類した。

(2) 第 1 回 WG2 幹事会の会合を開催し、まず、大中項目に関して審議を行った。
その結果、機械工業分野の評価項目の大中項目として、JEITA の一部変更案と大幅変更案の 2 案が提案された。 (それらの結果を**表 3.2** に示す)

(3) さらに、この会合で、WG2 委員対象にアンケート調査を行うことになり、アンケート用紙の作成や記入方法などに関しても審議を行った。これらにもとづき、WG2 委員 全員へのアンケート調査（第 1 回）を行った。 (**表 3.2** にアンケート調査の用紙を示す)

(4) 次に、第 1 回 WG2 の会合を開催し、WG2 各委員のアンケート調査結果にもとづき、大中評価項目に関して、JEITA の一部変更案と大幅変更案の 2 案に関し審議を行った。その結果、種々の条件を勘案し、今回の提案の大中評価項目は、大項目として JEITA の一部変更案を採用し、中項目にライフサイクルでの評価の考え方を取り入れて、構成することにした。これらの審議過程を通して、機械工業分野の特徴づけを明確にすることができた。

(詳細は **3.2 項**に記載)

(5) 第 1 回 WG2 会合の審議結果に従い、幹事会として具体的に環境適合設計評価の大中評価項目の原案を作成し、さらに、WG2 として、その結果を見直し修正し、大中評価項目に関する原案を作成した。

(6) 次に、この、大中項目に、小項目を割り振り、機械工業分野の評価項目の原案を作成した。これらにもとづきアンケート用紙を作成し、評価項目の大項目、中項目、小項目全体に関して、WG2 の委員を対象としたアンケート調査（第 2 回）を行った。これらのアンケート調査の回答は、分量が多く、前半、後半の 2 回に分けて行った。

(**表 3.3** にアンケート用紙の一部を示す)

(7) アンケート調査（第 2 回）の結果に関し、第 2 回 WG2 幹事会を開催し審議を行った結果、**表 3.1** に示す範囲での機械工業分野の代表的な評価項目を求めることが可能と分かった。そこで、幹事会としての機械工業分野の代表的な小項目案を決定して、これらを **(5) 項**で決めた大中評価項目に分配して挿入し、幹事会提案の“機械工業分野向け代表的な環境適合設計・評価項目(幹事会案)”を作成した。

(8) 第 2 回 WG2 会合で、これらの“機械工業分野向け代表的な環境適合設計・評価項目(幹事会案)”が提示され、審議結果、これらの一部修正を行ない、WG2 原案とすることを決定した。

(9) 今回のアンケート調査は、審議の途中で、当初から機械工業全般の評価項目を纏めることが難しいと判断し、前述のように、当初、機械工業分野の代表的な工作機械・ロボットの評価項目を纏めようとして、工作機械・ロボットの評価項目を中心に実施したが、その後、幹事会で検討した結果、“機械工業分野向け代表的な環境適合設計・評価項目の原案”を作成することが可能と分かり、これらを作成し、最終的には、この機械工業分野の代表的な評価項目に関するアンケート結果として取り纏めを行った。

(10) 今回得られたアンケート調査結果は、“機械工業分野向け代表的な環境適合設計・評価項目”に対する、**表 3.1** に示す範囲の製品に関与する WG2 各委員の意見が広く求められたもので、大変貴重なものであるから、アンケート結果を一覧表として取り纏め、生データとして本年の報告書に記載することにした。このため、より正確を期するため、各委員が、アンケート調査結果の見直しを行うことにした。

(11) アンケートの前半、後半の回答が終了した後、アンケート調査結果を一覧表として取り纏め、それらの結果を、まず、第 3 回 WG2 幹事会の会合で、事前審議し、WG2 委員にアンケート結果の見直し依頼を行うための取り纏め資料を作成した。これらの取り纏め資料によって、各委員がアンケート調査結果の見直しを行った。

(**表 3.4** にアンケート調査結果の見直し資料の一部を示す)

(12) 第 3 回 WG2 会合で、これらの見直し結果に基づき、WG2 委員で最終的な審議を行い、本年度提案する“機械工業分野向け代表的な環境適合設計・評価項目”の案を決定し、その各項目に関する WG2 の各委員の意見を、WG2 での審議結果を踏まえたアンケート調査結果として取り纏めることができた。 (詳細は **3.4 項**に記載)

“機械工業分野向け代表的な環境適合設計・評価項目”を**表 3.5** に、また、それら各項目に関する WG2 各委員の意見を纏めたアンケート調査結果を、**表 3.6** に示す。

(13) 本年度の検討は、各機械工業会の専門家に参加して頂いて行ったが、工業会では、セクトラルな指針作成をすすめているところもあり、今回作成した機械工業分野の代表的な評価項目を活用して工業会で指針検討を行うための一事例研究を行った。

具体的には、まず、“機械工業分野向け代表的な環境適合設計・評価項目”を ㈳日本ロボット工業会傘下の企業に適用した場合の評価に関し、一実施例としてアンケート調査を行った。

(**表 3.8** にアンケート用紙の一部示す)

また㈳日本ロボット工業会所属の委員が、㈳日本ロボット工業会で実施している環境適合設計の指針作成の活動への活用に関して、一実施例の検討を行った。

(詳細は **3.5 項**に記載)

⑭ 本年度の検討結果は、今後、機械工業分野で、種々の活用展開が考えられる。

本報告では、“機械工業分野向け代表的な環境適合設計・評価項目”と、それら各項目に関する WG2 委員のアンケート調査結果に関して一活用案を参考のため記載した。

(詳細は **3.4 項**に記載)

本年度の WG2 及び WG2 幹事会の会合実施の日時は次の通りである。

- WG2　（主査：斉藤　義夫）
  - 第 1 回： 7 月 29 日 （14：00～17：00）
  - 第 2 回：10 月 1 日 （14：00～17：00）
  - 第 3 回：12 月 4 日 （14：00～17：00）

- WG2 幹事会（幹事長：市川　芳明）
  - 第 1 回： 7 月 8 日 （14：00～17：00）
  - 第 2 回： 9 月 8 日 （ 9：30～12：00）
  - 第 3 回：11 月 6 日 （14：00～17：00）

（WG1 及び SWG1～4 の会合実施の日時は **4.2 項**の ⑶ に示す。）

また、環境適合設計手法標準化分科会の会合実施の日時は次の通りである。

- 環境適合設計手法標準化分科会　（主査：椿　広計）
  - 第 1 回： 6 月 10 日 （14：00～17：00）
  - 第 2 回：10 月 21 日 （14：00～17：00）
  - 第 3 回： 2 月 24 日 （14：00～17：00）

＜参考文献＞

1）㈳日本機械工業連合会：環境適合設計手法の標準化に関する調査研究、平成 15 年
2）通商産業省機械情報産業局 監修：機械情報産業総覧、通産資料調査会、平成 11 年

表 3.2　環境適合設計の評価項目に関するアンケート調査（第 1 回目）

【大中項目※2対象のアンケート調査】

JEITA のガイドラインの評価項目（大中項目）※1	機械工業分野向けの評価項目に関するアンケート調査(記入欄)	機械工業分野向けの評価項目（大中項目）の幹事会案※3	
		一部変更案※4	大幅変更案※4
a1. 省エネルギーの評価 a1.1 省エネルギー設計 a1.2 消費電力及びエネルギー消費効率などの明示 a1.3 製造時、据付時、メンテナンス時、設備に対する省エネルギー		**a1. 省エネルギーの評価** a1.1 省エネルギー設計 a1.2 消費電力及びエネルギー消費効率などの明示 a1.3 製造時、据付時、メンテナンス時、設備に対する省エネルギー	**a1. 製造時の評価** a1.1 製造工程における省エネルギー a1.2 製造工程におけるエミッション低減 （振動，騒音，大気／水質／土壌汚染物質，オゾン層破壊物質，温暖化物質） a1.3 製造工程における省資源 （水，石油資源，貴金属） a1.4 製造工程の化学物質使用における安全性配慮 （労働安全衛生法／毒劇法／化審法規制物質の使用）
a2. リデュースの評価 a2.1 製品などの小型化・軽量化・省資源化 a2.2 消耗品などの消費削減 a2.3 製品などの長寿命化		**a2. 省資源** (1) リデュースの評価 (2) リユースの評価 (3) リサイクルの評価	
a3. リユースの評価 a3.1 リユース対象部品などの明確化 a3.2 リユース対象部品などを回収するための解体分離の容易性 a3.3 リユースの判定基準 a3.4 リユースユニット、部品の清掃容易化		**a3. 処理容易性の評価** a3.1 製品などの回収、運搬の容易性 a3.2 機械破砕、焼却処理施設でのリサイクル・処理の適合性 a3.3 処理時の安全性 a3.4 処理に関する情報開示	**a2. 物流／据付時の評価** a2.1 製品輸送時の環境負荷低減 （積載効率改善，物流最適化，LNG 車での運搬など） a2.2 包装材低減 （通い箱，梱包レスなど） a2.3 据付負荷低減 （据付時の省エネなど）
a4. リサイクルの評価 a4.1 リサイクルが可能な材料、部品の選択 a4.2 解体、分離が容易な構造 a4.3 分別の容易性		**a4. 環境保全の評価** a4.1 安全な材料、部品などの選択 a4.2 製造工程における環境影響化学物質の使用削減 a4.3 製品使用中における環境影響化学物質の発生回避 a4.4 環境影響化学物質を含む部品類のリサイクル／適正処理など ・ ・ ・	**a3. 使用時の評価** a3.1 使用時の省エネルギー a3.2 使用時のエミッション低減 （振動，騒音，大気／水質／土壌汚染物質，オゾン層破壊物質） a3.3 メンテナンス作業における負荷低減 a3.4 消耗資材低減
a5. 処理容易性の評価 a5.1 製品などの回収、運搬の容易性 a5.2 機械破砕、焼却処理施設でのリサイクル・処理の適合性 a5.3 処理時の安全性 a5.4 処理に関する情報開示		**a5. 輸送時の評価** (1) 運搬の容易性 (2) 包装材の評価	**a4. End-of-life 時の評価** a4.1 リユース性向上 （交換部品のリユース，統一規格など） a4.2 リサイクル性向上 a4.3 最終処分時の環境影響最小化
a6. 環境保全の評価 a6.1 安全な材料、部品などの選択 a6.2 製造工程における環境影響化学物質の使用削減 a6.3 製品使用中における環境影響化学物質の発生回避 a6.4 環境影響化学物質を含む部品類のリサイクル／適正処理など		**a6. 据付、メンテナンスの評価**	**a5. 情報提供の評価** a5.1 処理に関する情報提供 a5.2 消費エネルギー及びエネルギー消費効率などの明示 a5.3 製品の環境負荷情報に関する情報提供
a7. 包装資材の評価 a7.1 リデュースの評価 a7.2 リユースの評価 a7.3 リサイクルの評価 a7.4 処理及び最終処分における環境保全性		**a7. 情報提供の評価** a7.1 製品取扱者への情報提供方法の評価 a7.2 提供する情報の種類・内容 a7.3 提供情報の理解容易性・徹底方法	**a6 全般的な評価** a6.1 小型軽量化 a6.2 長寿命化 （メンテナンスの容易性など）
a8. 情報提供の評価 a8.1 製品取扱者への情報提供方法の評価 a8.2 提供する情報の種類・内容 a8.3 提供情報の理解容易性・徹底方法		**a8. 総合評価** a8.1 個別項目ごとの評価の結果を踏まえ、総合評価を実施することが望ましい a8.2 総合評価では、個別項目ごとの評価の結果を集約することや、代替案との比較検討を行う。その際、製品の特性上、個別評価項目ごとに重要度が異なる場合には、評価に重み付けを行う	**a7. 環境設計アセスメントの実施方法** a7.1 事前評価マニュアルの作成 a7.2 評価の実施手順 a7.3 材料・部品の供給者との協力
a9. 総合評価 a9.1 個別項目ごとの評価の結果を踏まえ、総合評価を実施することが望ましい a9.2 総合評価では、個別項目ごとの評価の結果を集約することや、代替案との比較検討を行う。その際、製品の特性上、個別評価項目ごとに重要度が異なる場合には、評価に重み付けを行う			

JEITA のガイドラインの評価項目（大中項目）※1	機械工業分野向けの評価項目に関するアンケート調査(記入欄)	機械工業分野向けの評価項目（大中項目）の幹事会案※3	
		一部変更案※4	大幅変更案※4
a9.3 各項目ごとの評価は、相互にトレードオフの関係にある場合もあり、このような点にも留意しつつ、総合評価を行う （トレードオフの関係にあるものは、どのような設計判断をしたか、その基準を製品ごとに明確にする） a9.4 総合評価の結果が、従来製品以下という結果になれば、個別の事前評価の見直しが必要と判定し、改善策の再検討を行うのが望ましい a9.5 また、総合評価においては、製品本来の機能が損なわれないことや、安全性が確保されることなど、製品として最低限満足すべき要件を踏まえることが必要である a9.6 また、機械の種類により、評価として妥当でない項目がある場合は、評価項目を絞ってもよい		a8.3 各項目ごとの評価は、相互にトレードオフの関係にある場合もあり、このような点にも留意しつつ、総合評価を行う （トレードオフの関係にあるものは、どのような設計判断をしたか、その基準を製品ごとに明確にする） a8.4 総合評価の結果が、従来製品以下という結果になれば、個別の事前評価の見直しが必要と判定し、改善策の再検討を行うのが望ましい a8.5 また、総合評価においては、製品本来の機能が損なわれないことや、安全性が確保されることなど、製品として最低限満足すべき要件を踏まえることが必要である a8.6 また、機械の種類により、評価として妥当でない項目がある場合は、評価項目を絞ってもよい	
a10.環境設計アセスメントの実施方法 a10.1 事前評価マニュアルの作成 各社は、本ガイドラインを参考にそれぞれの組織、体制、対象製品の特性などを踏まえて、適切にマニュアルを作成するものとする a10.2 評価の実施手順 事前評価の内容を充実させるとともに、評価の客観性を確保するため製品の開発・設計者又は開発・設計部門による自主的評価と、その評価結果を取りまとめた記録などに基づく評価をする任にある者・部門による評価と二段階で実施されることが望ましい （製品評価に当たっては３段階で評価→この場合ももう１段階は？） a10.3 材料・部品の供給者との協力 製造業者は、製品をこのガイドラインの趣旨に沿って本質的に安全、低消費電力型にするとともに、機能拡張による製品の長寿命化や、使用済み製品の再資源化が容易な構造にするためには、製品を構成するユニット、部品などの設計製造をする供給者との間で、相互に必要な協力を行うことが望ましい		**a9. 環境設計アセスメントの実施方法** a9.1 事前評価マニュアルの作成 各社は、本ガイドラインを参考にそれぞれの組織、体制、対象製品の特性などを踏まえて、適切にマニュアルを作成するものとする a9.2 評価の実施手順 事前評価の内容を充実させるとともに、評価の客観性を確保するため製品の開発・設計者又は開発・設計部門による自主的評価と、その評価結果を取りまとめた記録などに基づく評価をする任にある者・部門による評価と二段階で実施されることが望ましい （製品評価に当たっては３段階で評価→この場合ももう１段階は？） a9.3 材料・部品の供給者との協力 製造業者は、製品をこのガイドラインの趣旨に沿って本質的に安全、低消費電力型にするとともに、機能拡張による製品の長寿命化や、使用済み製品の再資源化が容易な構造にするためには、製品を構成するユニット、部品などの設計製造をする供給者との間で、相互に必要な協力を行うことが望ましい	

※１：平成 14 年度　環境適合設計手法の標準化に関する調査研究　調査報告書（平成 15 年 3 月）の**表 4.3** の大中項目

※２：上記の**表 4.3** の評価項目は、例えば、a1, a11 ,a111 のように 3 段階に分類されているが、このうち、例えば、a1, a11　までの 2 段階までを大中項目とした。

※３：WG2 幹事会での審議結果の評価項目を、アンケート調査の参考に幹事会案として記載した。

※４：JEITA の評価項目の一部変更を一部変更案、大幅な変更を大幅変更案として記載した。

表 3.3　環境適合設計の評価項目に関するアンケート調査（第２回目）

【評価項目全体を対象としたアンケート調査】

機械工業分野向け環境適合設計評価項目の幹事会案※1		機械工業分野向け環境適合設計評価項目に関するアンケート調査（記入欄）			
		左記【I_1】に関するアンケート調査（記入欄）		左記【II_1】に関するアンケート調査（記入欄）	
【I_1】:工作機械･産業用ロボット対象の評価項目※1	【II_1】:その他の機械対象の評価項目※1	ランク付け※2に関する調査	評価項目に関する調査（幹事会案に対する変更･追加･修正など）	ランク付け※2に関する調査	評価項目に関する調査（幹事会案に対する変更･追加･修正など）
a1.　省エネルギーの評価	a1.　省エネルギーの評価				
a1.1　省エネルギー設計	a1.1　省エネルギー設計				
a1.1.1　低電力消費型部品の開発、採用をしているか ・エネルギー消費効率の良い部品の開発、採用をしているか　(⑧)※3 ・低電力消費型製品の開発をしているか（⑦）	a1.1.1　低電力消費型部品の開発､採用をしているか ・省エネルギー型部品の開発、採用をしているか (⑥)				
a1.1.2　低電力モード機能の採用をしているか ・エネルギー消費量を削減するような構造､仕様になっているか（⑧） ・節電機能の有無、機能の向上（⑦）	a1.1.2　低電力モード機能の採用をしているか ・低負荷モード機能の採用をしているか (①) ・省電力仕様の採用をしているか (⑥)				
a1.1.3　電源オフ機能の採用をしているか ・運転状態により、エネルギー消費効率を良くするような機能を採用しているか（⑧）	a1.1.3　電源オフ機能の採用をしているか ・過負荷解除機能の採用をしているか (①)				
	＜追加＞ a1.1.4　長時間連続運転する機器の場合には､ディスプレイオフ機能などの省電力機能を有しているか				
	a1.1.5　基本システムのエネルギー効率向上　(③)				
	a1.1.6　補機類のエネルギーの削減　(③)				
	a1.1.7　低負荷運転時のエネルギー効率低下の防止 (③)				
	a1.1.8　起動・停止時のエネルギーロスの低減 (③)				
	a1.1.9　機械作動ロスの削減 (③)				
	a1.1.10 省エネルギー運転方法を採用しているか (⑥)				
	a1.1.11 エネルギー効率の低下の防止 (③)				
	a1.1.12 消費電力の大きいユニットについて重点的に省エネ対策が施されているか (⑤)				

※１：WG2 幹事会での審議結果の評価項目を、工作機械・産業用ロボット対象とその他の機械に分けて、アンケート調査の幹事会案として記載した。

※２：評価項目に関して、各評価項目の必要性を、A、B，C のランク付けを行い、アンケート調査した。詳細は、**3.3 項**参照。

※３：（　）内の丸数字は、記載された評価項目が、**表 3.1** に示す対象製品に関する評価項目であることを示す。

表 3.4　環境適合設計の評価項目に関するアンケート調査結果の取り纏め内容の見直し

【I_2】：機械工業分野向け 代表的な環境適合設計･評価項目※1			【II_2】：【I_2】(環境適合設計･評価項目）に関するアンケート調査結果※2		【II_2】（アンケート調査結果）の見直し※3（記入欄）	
大項目	中項目	小項目	ランク付け	評価項目に関するアンケート調査結果	ランク付けの見直し	評価項目に関するアンケート調査結果の見直し
a1. 省エネルギーの評価			A,A	（③，⑥）※4		
			A	a1.0　省エネルギー設計（仕様）（⑥）		
			A	a1.1.0 使用条件、サイト条件、輸送条件などを総合して、環境負荷最適化を志向した仕様となっているか（⑥）		
	a1.1 製造工程の省エネルギー		A,B	（③，⑥）		
		a1.1.1 電気エネルギー使用量削減	B,A,A,B,A	a1.1.1 製造時に大電力や特殊な設備を必要としないか（①，④，⑤，⑥，⑧）（防音、防振、排気、電磁シールドなど）		
			A	a1.1.1 製造時の電力消費を従来より抑える工夫が導入されているか（②）		
			A,A	a1.1.1 製造時の電力／石油／ガス／水の使用量は削減されているか（④，⑦）		
			B	a1.1.1 製造時のエア漏れ対策やエア圧最適化によりコンプレッサー電力使用量が削減されているか（⑧）		
			A	a1.1.1 製造時各工程（素材製造、部品加工、組立）で、エネルギー消費量を削減するような方策を採っているか（⑧）		
			B	a1.1.1 省エネルギー加工方法を採用しているか（電力、燃料、水など）（③）		
			C	a1.1.2 試運転方法が省エネルギーとなるように設計的に検討されているか（③）		
			A	a1.1.2 工程の短縮や結合が考慮されているか（④）		
			A	a1.1.3 既存の工程での生産が可能か（④）		
			A	a1.1.4 形状はシンプルで複雑な加工を必要としていないか（④）		
			B	a1.1.1 加工物量の削減化を図っているか（③）		
			B	a1.1.1 加工方法の最適化を図っているか（③）		
			A	a1.1.5 部品の共有化・モジュール化が図られているか（④）		
			B	a1.1.2 横持ち、段取り直しの少ない設計になっているか（①）		
		a1.1.2 熱エネルギー使用量削減				
			A	a1.1.2 プロセスで使うエネルギーの監視・管理は十分か／改善策を講じたか（②）		

※１：WG2 幹事会での審議結果の機械工業分野向け 代表的な環境適合設計･評価項目を、大項目、中項目、小項目に分類して記載した。

※２：**表 3.3** での環境適合設計の評価項目に関するアンケート調査結果を、上記 ※１の機械工業分野向けの代表的な環境適合設計･評価項目に分配して記載した。

※３：アンケート調査結果を機械工業分野向け 代表的な環境適合設計･評価項目に分配して記載した上記※２の内容の見直し調査（アンケート結果の分配の妥当性、アンケート記入内容の見直しなど）結果の記載欄。

※４：（　）内の丸数値は、記載された内容が、**表 3.1** に示す製品に関与する WG2 の委員より提案されたことを示す。

3.2　機械工業分野の特徴

本節では、主として幹事会を中心に行われた議論をまとめ、環境適合設計を実施するに当たっての、機械工業分野の特徴的な配慮事項を要約して示す。結果的には、電気電子分野とは著しく異なった特徴が浮き彫りになった。

3.2.1　電気電子との業種の違いによる違和感について

3.2.1.1　各委員の直感的な違和感

まず、JEITA による環境適合設計ガイドラインの構成を見たとき、機械工業分野の製品の設計を担当する各委員の目からみた直感的な違和感を議論した。

参考　JEITA の構成

a1. 省エネルギーの評価
a2. リデュースの評価（メンテ、長寿命を含む）
a3. リユースの評価
a4. リサイクルの評価
a5. （解体、回収、破砕）処理容易性の評価
a6. 環境保全の評価（使用時、製造時負荷）
a7. 包装資材の評価（Reduce,Reuse,Recycle)
a8. 情報提供の評価

その結果、次のような意見が出された。

(1) 使用時の排気、排水、振動、騒音がまったく配慮されていない
PC（パーソナルコンピューター）ではこれらの環境側面がはじめから無視されているからではないか。

(2) メンテナンスがリデュースに入っていることに違和感がある
PC は基本的には定期点検や保守はしないので、重視されていないからではないか。

(3) リデュース、リユース、リサイクル、処理容易性が各々独立した大項目となっており、また、包装資材の評価に関しても同じ観点から大項目となって独立している。全体に廃棄物問題対応色の強い評価となっている。

(4) 全体にエネルギー問題対応と廃棄物問題対応に塗りつぶされた構成である。
「a6.環境保全の評価」のみが第三の課題として取り上げられている。

3.2.1.2　電気電子分野と機械工業分野との違いの本質

これらの直感を整理すべく議論を重ね、次のような項目が両者の根本的な違いを作り出していることが見いだされた。

⑴　環境問題が発生する背景の違い

もともと、電気電子の分野の製品は、消費財で、広く多くの人々に使われ、電気電子技術の発展に伴い多くのニーズが発生し、ニーズ変化に対応して、種々の機能が付加され、種々の新しい材料や複合の材料を適用して、安く、軽く、小さくを追求し、ここ数十年の間に、急速に種々のものを、大量に作り出してきた。環境などを考慮する余裕もなく、気がつけば、環境への配慮などが問題になり、比較的近年になってクローズアップされてきている。

これに比べ、工作機械や産業用ロボットを代表とする機械工業分野の製品は、生産財で、使用者が限定され、それほど大きなニーズ変化もなく、しかも、産業革命以来、ニーズ変化に徐々に対応して改良を行ってきており、その改良の一環として、環境に対する対応も、電気電子の分野の製品ほど大きな問題が取り残されていない。

⑵　著しい環境側面の違い

機械工業分野の製品は、産業革命以来、地下に埋もれていた鉄などの素材を大切に考え、できるだけ少なく使用して（省資源)、その上、エネルギーをできるだけ少なく使うよう（省エネルギー）作られてきており、メンテナンスを行って長く大切に使用されてきた（長寿命)。従って、電気電子分野の製品とは、環境問題に関しても、取組む課題を大きく異にしている。 ライフサイクルアセスメントを実施すると明らかであるが、機械工業分野の製品は一般に使用時の環境負荷が大きい。例えば、蒸気を使う機械では、ボイラの煤塵なども使用時の環境負荷になる。これに比較すれば電気電子製品では使用時の負荷は少ないといえる。

一方、電気電子製品で著しい負荷となる短期間での製品／包装材の大量廃棄、希少な金属の大量消費などは、機械工業分野の製品では「著しい」環境側面とはならない。すなわち、電気電子分野の製品にとっては国内外の法律や規格類で、3R が問題であるといっても、機械工業分野の製品にとって、必ずしもすべてが、3R であるということにならない。

⑶　あまりに長期で遠大なリサイクル計画

もし、リサイクルについての設計配慮を本格的に実施するとすれば、機械工業分野の製品は寿命が長いことから、例えば 20 年後の技術レベレを見通してのリサイクルやリユースの仕方や可能性がどうなるか、その時代のリサイクルやリユースのニーズから見た必要性がどうなるか、すなわち再生品の機能面で必要性や経営的な面から見て市場性がでてくるかなどの予測をしなければならない。この意味で、設計者が、設計時に、20 年先を見通して、リサイクルやリユースを取り上げて、考慮することがどれほどの価値があるかという疑問が出てくる。この視点においても、使用時の環境負荷に比較して、廃棄／リサイクル時の環境負荷を特別に重く捉えることの意味が無くなってくる。

3.2.2　環境適合指針作成の適切な進め方について

本来の趣旨からすると、ある製品分野 Z の環境適合設計指針を作成する手順は次のようなステップに従うべきである。

(1) 製品 Z の全ライフサイクルにおける環境影響評価を実施して著しい側面を抽出する。

(2) 著しい側面を改善するための設計上のステップを特定する。

(3) 上記設計ステップで設計上重要な項目のうち、従来の設計の進め方では忘れられがちなものに絞って抽出し、その取り組み方針を指針にて策定する。

3.2.3　ライフサイクルでみた特徴的な著しい環境側面

機械工業分野の製品といっても、具体的には電力設備、動力機械、ポンプ、ボイラ、測定機器、工作機械、ロボットなど製品ごとに様々に異なる特徴があるので一概には総括できないが、各委員の議論の中では次のような新たな著しい側面が取り上げられた。

⑴ **据付時の環境影響**

大型の機械工業分野の製品の場合、特に据付けという行為が見逃せない。据付け用にクレーンを使用したり、極端な場合は土木工事をして道路を新たに建設してまで実施するケースがある。大きな環境影響が発生する。

⑵ **使用時のエミッション（振動、騒音、大気／水質／土壌汚染物質）**

大型の機械では、振動、騒音も問題となる。いわゆる公害防止法(特定工場における公害防止組織の整備に関する法律、**表 4.2** 参照)の特定施設に該当する機械工業分野の製品では、あきらかにこれが著しい側面になる。

⑶ **使用時の資源消費（水、油など）、廃棄物**

機械工業分野の製品は、使用時の電源だけではなく、資源を消費する物も少なくない。例えば、連続的な洗浄や冷却のための水資源の消費や、洗浄油、潤滑油の消費がある。また、排水、廃油なども環境影響が大きい。

⑷ **メンテナンス作業における環境負荷**

例えば、エレベータのような機械工業分野の製品では、装置の建設よりも、保守作業の方が大きなビジネスになっている。それだけ環境影響も大きいといえる。一般に機械工業分野の製品は長年、定期点検と定期保守を実施しながら（これは法律でも義務づけられていることが多い）使っていくものなので、この観点は見逃せない。

3.2.4　大項目と中項目選定のプロセス

3.2.4.1　環境影響評価に基づく試案

まず、著しい環境側面を特定したプロセスに従って、次のような評価項目に関する試案が叩き台として提出された。またこの案と対比する目的で、JEITA 方式の一部修正案（**表 3.2** 参照）が提出され、比較論議がなされた。

参考　評価項目の試案

a1　製造時の評価
- a1.1 製造工程における省エネルギー
  - a1.1.1 電気エネルギー使用量削減
  - a1.1.2 熱エネルギー使用量削減
- a1.2 製造工程におけるエミッション低減
  - a1.2.1 振動・騒音の排出削減
  - a1.2.2 大気汚染物質の排出削減
  - a1.2.3 水質／土壌汚染物質の排出削減
  - a1.2.4 オゾン層破壊物質の排出削減
  - a1.2.5 地球温暖化物質（CO_2除く）の排出削減
    - ・CH_4、N_2O、HFC、PFC、SF_6
  - a1.2.6 廃棄物量削減
- a1.3 製造工程における省資源
  - a1.3.1 水使用量削減
  - a1.3.2 森林資源使用量削減
  - a1.3.3 枯渇性資源使用量削減（石油、貴金属など）
- a1.4 製造工程の化学物質使用削減
  - a.1.4.1 製造工程での作業者の化学物質暴露リスク削減

a2　物流／据付時の評価
- a2.1 製品輸送時の環境負荷低減
  - a2.1.1 機械の省スペース化
  - a2.1.2 大型機器の輸送・搬送時の分離化
  - a2.1.3 輸送経路の最適化
  - a2.1.4 低環境負荷輸送手段の選択
- a2.2 包装材低減
  - a2.2.1 包装(梱包)材及び緩衝材の使用量削減
  - a2.2.2 リサイクル可能材料の利用
  - a2.2.3 リユースに適した包装(こん包)材の選択、通い箱使用など
  - a2.2.4 収集・運搬が容易なこん包材の使用
    - ・折り畳み構造など
- a2.3 据付負荷低
  - a2.3.1 据付時の省エネルギー設計、特殊設備の排除
  - a2.3.2 低重心、運搬可能などを考慮した構造

a3　使用時の評価
- a3.1 使用時の省エネルギー
  - a3.1.1 省エネルギー型部品の開発、採用
  - a3.1.2 エネルギー消費量を削減するようなシステム構成
  - a3.1.3 省エネルギー運転
    - ・節電機能の有無、機能の向上など
    - ・起動／停止時のエネルギーロスの低減
    - ・運転状態により、エネルギー消費効率を良くする機能
  - a3.1.4 動作環境条件の緩和（空調、クリーンルームなどの負荷低減）
- a3.2 使用時のエミッション低減
  - a3.2.1 使用時の化学物質暴露リスク削減
  - a3.2.2 振動・騒音の排出削減
  - a3.2.3 大気汚染物質の排出削減
  - a3.2.4 水質／土壌汚染物質の排出削減
  - a3.2.5 オゾン層破壊物質の排出削減

a3.2.6 地球温暖化物質（CO_2除く）の排出削減
・CH_4、N_2O、HFC、PFC、SF_6
a3.2.7 廃棄物量削減
a3.3 メンテナンス作業における負荷低減
a3.3.1 メンテナンス時の省エネルギー設計
a3.4 使用時の資源消費低減
a3.4.1 水使用量削減
a3.4.2 森林資源使用量削減
a3.4.3 枯渇性資源使用量削減（石油、貴金属など）
a3.4.4 修理交換、消耗部品への環境影響化学物質の使用削減
a4 End-of-life 時の評価
a4.1 リユース性向上
a4.1.1 部品取り外し、解体分解が容易な設計
(1) 一般的な工具での解体・分離性
(2) 同一方向からの解体・分離性
(3) 接着、溶接などによる分離困難な接合回避
(4) 重量物は底面からの解体の回避
(5) 処理者にとって安全な構造
a4.1.2 部品数の削減
a4.1.3 標準規格部品の使用
a4.2 リサイクル性向上
a4.2.1 原材料の標準化及び使用材料種類の削減
a4.2.2 リサイクルを阻害する材料、部品を容易に分離できる構造
a4.2.3 異種材料の分離が容易な構造
a4.2.4 プラスチックの熱回収利用を阻害する添加剤などの使用回避
a4.2.5 材料名の表記
a4.3 最終処分時の環境影響最小化
a4.3.1 最終処分時の環境負荷発生材料の分離容易化設計
a4.3.2 最終処分時を考慮した有害化学物質含有量削減
a5 情報提供の評価
a5.1 処理に関する情報提供
a5.1.1 処理困難物に関する情報開示
a5.1.2 解体手順書
a5.1.3 処理方法、問い合わせ先などの明示
a5.2 消費エネルギー及びエネルギー消費効率などの明示
a5.2.1 購入者が製品選定に使用するカタログなどへの性能表示
a5.3 製品取扱者への情報提供
a5.3.1 販売・保守に携わる者への環境負荷情報提供
a5.3.2 使用者への製品の環境負荷情報提供方法
(1) 通常使用時の環境負荷
(2) 緊急時の環境負荷と防止対策
(3) 含有化学物質情報
a5.3.3 ライフサイクル環境負荷情報の提供
a6 全般的な評価
a6.1 小型軽量化
a6.1.1 製品質量の削減
a6.1.2 製品体積の削減
a6.2 長寿命化
a6.2.1 製品のメンテナンス性向上

・修理、保守、清掃作業が容易、工数低減
・汎用部品の使用
a.6.2.2 MTBF(平均故障間隔)、部品寿命、耐久性の長期化
a.6.2.3 製品の寿命、部品毎の寿命の的確な把握
a7 環境設計アセスメントの実施方法
a7.1 環境適合設計指針の作成
a7.1.1 評価の実施手順の明確化
a7.1.2 設計生産プロセスにおける評価タイミングの明確化
a7.2 サプライチェーンに沿った環境負荷情報収集
a7.2.1 部品・材料供給者からの情報収集
a7.2.2 使用者、処理業者からの情報収集

3.2.4.2 試案に対する議論と結論

WG2 の全体会議において次のような議論が行われ、結論に至った。

【議論】

(1) 一般的に環境負荷評価項目と製品のライフサイクルは評価マトリックスにおける縦軸と横軸の関係にある（下図参照)。著しい環境側面としてマッピングされる（〇のつく）項目が製品ごとに異なったものになる。JEITA の評価項目の配列は、この縦軸に沿って大項目を並べたものであり、試案はこの横軸に沿って大項目を取っている。どちらも一長一短である。

ﾗｲﾌｻｲｸﾙ / 評価項目	素材製造／製品加工	物流／据え付け	使用時	End-of-life
省エネルギー	〇	〇	〇	
リサイクル性				〇
環境排出	〇		〇	
省資源	〇		〇	
廃棄物	〇			〇
・・・・・				

(2) 上記で横軸を大項目にすると、設計手順として環境配慮の見落としが減るなどの利点があるが、環境配慮をアピールすることについては弱い。また、日本からの国際的な提案に整合していない。

(3) 素材製造、製品加工、輸送、使用、再利用／廃棄というライフサイクルを考えた場合に、使用時が圧倒的に大きい。使用時の資源消費、排出、メンテナンス時にも環境負荷が発生する。

(4) 再利用、廃棄については、自動車や家電品に比べて量が少ないので、環境負荷は極めて小さい。長寿命製品のボルトなどは廃棄後もリユースしない。ただし、まったく無いわけではなく、

保守部品としてリユースの行われているものがある。また日本の中古製品を海外に持って行ったときなど、手を入れてから再使用することがある。

(5) 包装材もそれほど負荷が高くないことと、設計者の責任範囲外の場合が多いので、輸送の項目に入れて考えてよいのではないか。実際には運送業者が木枠を作って運び、その後は持ち帰って木材としてリサイクルしているようだ。ただし、通い箱などの工夫をしている場合もある。

(6) 省エネルギーや消耗資材低減などは、機械工業分野の製品設計では当たり前のように考慮されてきている。この点が電子機器のような性能や最先端性を優先する設計思想と異なるのではないか。これまでの設計での取組みを環境配慮という観点から裏付けるような指針にならないか。

(7) 情報の提供は必要

(8) 試案では LCA を実施していることと代わりがない。設計手順にならない。

【結論】

JEITA 方式をベースに大項目を作り、中項目はライフサイクル配慮を盛り込む。すなわち試案と JEITA 方式の長所を取り入れる。

3.2.4.3 どの場面でどのように使われるのか？

試案の審議において重要な論点だったのは、この環境適合設計指針を誰がどのように使うのかという観点である。例えば、装置の電源部のみを設計している担当者が、商品として完成した装置全体の物流までを管理できるケースは少なく、その意味では自分に関係した箇所だけを取り出して点検するためのチェックリストという考え方がある。しかし、この場合は、ある箇所（大項目または中項目）においてコンプリートでなければならない。すると、省エネルギーや小型化などのキーワードが至る所に出てくることになる。これでは却って使いづらいので、例え部品の設計者であっても、ライフサイクル全体を見て環境影響を配慮するためのリストであるものとした。

使うタイミングについても議論があった。一般に DR（デザインレビュー）は、企画段階、試作段階、量産前段階でフェーズに分けて行われることが多い。本来は企画時と量産時などの DR の視点は異なるはずであるが、環境配慮という観点では、同一のものを用い、DR をパスするための関門という使い方をすることも想定した。

3.2.5 委員会案の提案

上記の審議結果に則り、委員会として案を作成した。これを**表 3.5** に示す。（**表 3.5** の内容は、その後各委員からの見直し提案による修正も含まれる。）

表 3.5 では、評価項目の大項目を、機械工業分野として重要な省エネルギー、省資源、メンテナンスなどが明確になるように、JEITA の評価大項目の一部変更で構成し、さらに、前述したライフサイクルの考え方を評価項目の中項目に取入れて構成したものである。これによって、縦軸と横軸の直交性をなるべくきれいに表現できるように見直し、中項目はできるだけライフサイクルを反映したものにした。

3.2.5.1　委員会案を作成するにあたっての配慮した点

(1)　JEITA の極めて具体的かつ限定的な表現よりも、やや一般性のある文言にし、なるべく機械工業分野の製品全般にあてはまるように配慮した。また「～しているか」の表現をやめる。

(2)　リサイクルと処理容易性の区別については次のように明確化した：

この二つは一見、類似の概念であるが、**図 3.1** に示す考え方によって区別している。すなわち、End-of-life 製品を回収した後、まず先に分解や解体の作業があり、この作業において作業者の仕事のやりやすさ、安全性への配慮を問うのが**表 3.5** の「a3.2 分解の容易・安全性」である。その後、リサイクル可能なものはリサイクル処理に回され、残りは最終処分に回される。このリサイクル可能な部分の比率を上げるための配慮が設計時にビルトンされているかということを問うのが「a2.8 リサイクルの可能性」である。従って、後者は材料の選択などの配慮になり、前者は分解時間を短縮したりすることの配慮になる。

使用されている材料の種類を 1 種類に統合するなどについては、分解時間の短縮にもなるし（分解すべきパーツを減らすことができるから)、また異種材料が入らないのでリサイクル率の改善にもつながるため、設計上の施策としては両方に効果があると見ることができるが、前者は「部品点数削減」に含まれるものとし、「a2.8.5 原材料の標準化及び使用材料種類の削減」の表現は後者に入れている。

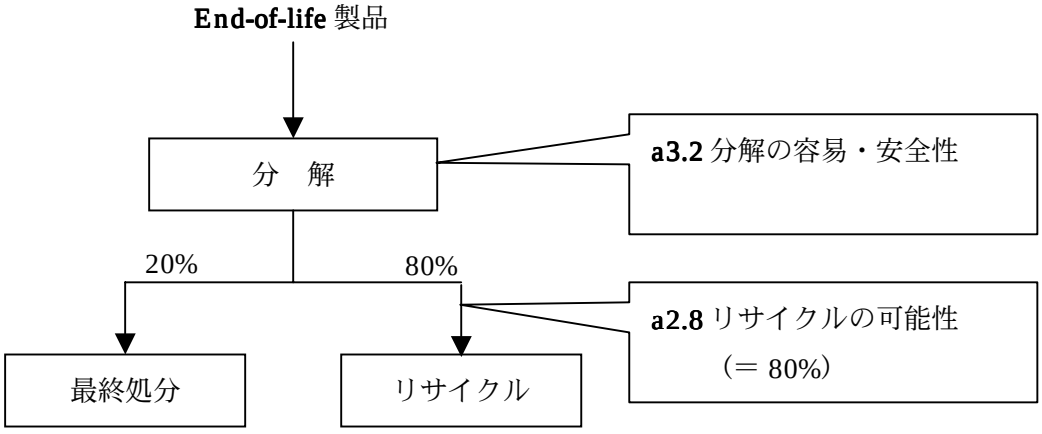


図 3.1　リサイクルと処理容易性の区別

表 3.5　機械工業分野向け 代表的な環境適合設計 評価項目※1

大項目	中項目	小項目
a1. 省エネルギーの評価		
	a1.1 製造工程の省エネルギー	
		a1.1.1 電気エネルギー使用量削減 a1.1.2 熱エネルギー使用量削減
	a1.2 物流／据付時の省エネルギー	
		a1.2.1 据付時の省エネルギー設計，特殊設備の排除 a1.2.2 輸送経路の最適化 a1.2.3 積載効率改善
	a1.3 使用時の省エネルギー	
		a1.3.1 省エネルギー型部品の開発、採用 a1.3.2 省エネルギー運転 (1) 節電機能の有無、機能の向上など (2) 起動／停止時のエネルギーロスの低減 (3) 運転状態により、エネルギー消費効率を良くする機能(過負荷解除機能など)の採用 a1.3.3 エネルギー消費量を削減するようなシステム構成 a1.3.4 エネルギー回収 a1.3.5 動作環境条件の緩和 （空調，クリーンルームなどの負荷低減）
	a1.4 メンテナンスの省エネルギー	
		a1.4.1 メンテナンス時の省エネルギー設計
	a1.5 消費エネルギー効率などの表示	
		a1.5.1 カタログなどへの性能表示
a2. 省資源の評価		
	a2.1 製品の小型・軽量・省資源	
		a2.1.1 製品質量の削減 a2.1.2 製品体積の削減 a2.1.3 機器類の配置の最適化
	a2.2 製造工程の省資源	
		a2.2.1 水使用量削減 a2.2.2 森林資源使用量削減 a2.2.3 枯渇性資源使用量削減(石油，貴金属など)
	a2.3 物流／据付時の省資源	

大項目	中項目	小項目
		a2.3.1 包装(梱包)材及び緩衝材の使用量削減 a2.3.2 リサイクル可能材料の利用 a2.3.3 リユースに適した包装(梱包)材の選択（通い箱 使用など） a2.3.4 収集・運搬が容易な梱包材の使用（折りたたみ構造など）
	a2.4 使用時の省資源	
		a2.4.1 修理交換、消耗部品の資源使用削減 a2.4.2 水使用量削減 a2.4.3 森林資源使用量削減 a2.4.4 枯渇性資源使用量削減（石油，貴金属など）
	a2.5 メンテナンスの省資源	
		a2.5.1 修理，保守，清掃作業の容易化
	a2.6 リユース性	
		a2.6.1 部品取り外し，解体分解が容易な設計 (1) 一般的な工具での解体・分離性 (2) 同一方向からの解体・分離性 (3) 接着、溶接などによる分離困難な接合回避 (4) 重量物は底面からの解体の回避 (5) 処理者にとって安全な構造 a2.6.2 部品数の削減 a2.6.3 標準規格部品の使用
	a2.7 長寿命性	
		a2.7.1 製品の増設性(アップグレード性) a2.7.2 耐久性向上
	a2.8 リサイクル可能性	
		a2.8.1 リサイクルが可能な材料、部品などの使用 a2.8.2 リサイクルを目的とした分解・分離※2 a2.8.3 リサイクルを阻害する材料、部品を容易に分離できる構造 a2.8.4 プラスチックの熱回収利用を阻害する添加剤などの使用回避 a2.8.5 原材料の標準化及び使用材料種類の削減 a2.8.6 材料名の表記 a2.8.7 リサイクル方法の明確化（市場にて)※3
a3. 処理容易性の評価		
	a3.1 回収の容易性	
		a3.1.1 回収のための分解、移動の容易性※2
	a3.2 分解の容易・安全性	
		a3.2.1 部品点数削減 a3.2.2 部品などの材質判別の容易性※2

大項目	中項目	小項目
	a3.3 最終処分・リサイクル処理の容易・安全性※3	
		a3.3.1 破砕／切断が困難部品の分離容易化設計 a3.3.2 処理作業の安全性 a3.3.3 回収、適正処理、リサイクルルートの確立※2 a3.3.4 最終処分時を考慮した有害化学物質含有量削減
a4. 環境保全の評価		
	a4.1 安全な材料、部品などの選択	
		a4.1.1 環境や人の健康に影響が考えられる物質の部品などへの含有最小化
	a4.2 製造工程のエミッション	
		a4.2.1 製造工程での作業者の化学物質暴露リスク削減 a4.2.2 水質／土壌汚染物質の排出削減 a4.2.3 オゾン層破壊物質の排出削減 a4.2.4 大気汚染物質の排出削減 a4.2.5 地球温暖化物質(CO_2除く)の排出削減(例えば、CH_4、N_2O、HFC、PFC など)※4 a4.2.6 製造工程の廃棄物量削減※3 a4.2.7 騒音の排出削減 a4.2.8 振動の排出削減
	a4.3 物流のエミッション	
		a4.3.1 低環境負荷輸送手段の選択(排ガス、振動、騒音など)※2
	a4.4 使用時のエミッション	
		a4.4.1 使用時の化学物質暴露リスク削減 a4.4.2 大気汚染物質の排出削減 a4.4.3 水質／土壌汚染物質の排出削減 a4.4.4 地球温暖化物質（CO_2除く）の排出削減(例えば、CH_4, N_2O, HFC、PFC など)※4 a4.4.5 オゾン層破壊物質の排出削減 a4.4.6 使用時の廃棄物量削減※3 a4.4.7 振動騒音の排出削減
	a4.5 処理時のエミッション	
		a4.5.1 処理時に有害な物質及び環境負荷物質の排出削減 a4.5.2 処理時の廃棄物削減※2

大項目	中項目	小項目
a5. 情報提供の評価		
	a5.1 製品の環境負荷情報の提供	
		a5.1.1 販売･保守に携わる者への環境情報提供※3 a5.1.2 通常使用時の環境負荷情報提供※3 a5.1.3 緊急時の環境負荷と防止対策に関する情報提供※3 a5.1.4 含有化学物質に関する情報提供※3 a5.1.5 ライフサイクル環境負荷に関する情報提供※3
	a5.2 分解、最終処理に関する情報提供	
		a5.2.1 処理専門業者などへの情報提供※3 a5.2.2 取扱、処理に関する情報提供 (1) 安全な使用方法、取扱い上の注意事項 (2) 保守や修理の手順や方法 (3) 製品など廃棄時の注意事項 (4) 製品・部品の圧縮・破砕が極めて困難な物の物理的性状など、適正処理のための腐食性、有害性、爆発性、作業上の危険性、環境保全性、設備への影響 (5) 焼却などの熱処理による有害ガスなどの生成の可能性
	a5.3 提供する情報の十分性、最新性	
a6. 環境適合設計の実施方法		
	a6.1 環境適合設計指針の作成	
		a6.1.1 評価の実施手順の明確化 a6.1.2 設計生産プロセスにおける評価タイミングの明確化
	a6.2 サプライチェーンに沿った情報収集	
		a6.2.1 部品・材料供給者からの情報収集 a6.2.2 使用者，処理業者からの情報収集
	a6.3 管理・運用システム	
a7. 総合評価	a7.1 個別項目ごとの評価の結果を踏まえ、総合評価を実施することが望ましい。 a7.2 総合評価では、個別項目ごとの評価の結果を集約することや、代替案との比較検討を行う。その際、製品の特性上、個別評価項目ごとに重要度が異なる場合には、評価に重み付けを行う。 a7.3 各項目ごとの評価は、相互にトレードオフの関係にある場合もあり、このような点にも留意しつつ、総合評価を行う。	

大項目	中項目	小項目
	a7.4 総合評価の結果が、従来製品以下という結果になれば、個別の事前評価の見直しが必要と判定し、改善策の再検討を行うのが望ましい。 a7.5 また、総合評価においては、製品本来の機能が損なわれないことや、安全性が確保されることなど、製品として最低限満足すべき要件を踏まえることが必要である。	

※１：(1) **表 3.4** の**【Ⅰ$_2$】**に示す機械工業分野向け代表的な環境適合設計･評価項目を、**表 3.4** の**【Ⅱ$_2$】**示す内容見直し結果に基き、更に修正を行った後の評価項目を示す。

(2) 本資料の内容は、機械工業分野向け代表的な環境適合設計･評価項目を示すにすぎず、機械工業分野を包括する規格･指針的な評価項目でないので、本資料の内容を活用し、使用する場合に注意を要する。(詳細 **3.3 項**参照)

※２：**表 3.4** の**【Ⅱ$_2$】**に示す内容見直し結果に基き、**表 3.4** の**【Ⅰ$_2$】**の内容に追加して修正した評価項目を示す。

※３：**表 3.4** の**【Ⅱ$_2$】**に示す内容見直し結果に基き、**表 3.4** の**【Ⅰ$_2$】**の内容を変更して修正した評価項目を示す。

※４：ここに例示した地球温暖化物質は地球温暖化に関する法律などで記載されている物質の一部であり、ここで HFC はハイドロフルオロカーボン、PFC はパーフルオロカーボンの略称である。

3.3　環境適合設計の評価項目に関するアンケート調査結果

本年度は、機械工業分野の特徴づけを明らかにすることを目的として、機械工業分野の製品を対象に、環境適合設計を行うときの評価項目に関する調査検討を行ったが、結果として、“機械工業分野向け代表的な環境適合設計・評価項目（**表 3.5**)”とそれらに対するアンケート調査結果（**表 3.6**）を作成することができた。

審議の過程で、これら**表 3.5** と**表 3.6** は、色々な事項に使われ有用なことが分かったので（**3.4 項**参照)、**表 3.5** と**表 3.6** の内容につき、説明を行うこととした。

なお、これら環境適合設計の評価項目とアンケート調査結果の見方の説明を、**表 3.7** に一覧表として纏めたので、この中に記載した(丸付き)番号に従って次に説明を行う。

（**表 3.7** 参照）

3.3.1　機械工業分野向け代表的な環境適合設計の評価項目

【①】 **表 3.5** に示す通りであり、同一内容を、**表 3.6** の【I_3】欄に記載した。
これらの内容は、主に利用者に情報提供の役割を果たすものであり、利用者が、必要な部分を選択したり、或いは、必要に応じて内容を追加するなど、使いこなしを行うことが必要である。
また、これらの内容は、機械工業分野の代表的な評価項目を示すにすぎず、機械工業分野を包括する規格・指針的な評価項目でないので、本資料の内容を活用し、使用する場合に注意を要する。

【②】 本年度は平成 14 年度報告書の表 4.3 に記載の JEITA の評価項目から調査検討を開始し、JEITA の評価項目が、電気電子分野の IEC への国際提案の検討の原案となっていることから、**表 3.5** に記載の分類記号は、平成 14 年度報告書の表 4.3 の記載と同一とした。
なお、検討の過程で、次に例を示すように、数字 1 桁を大項目、2 桁を中項目、3 桁を小項目とした。

例　　数字 1 桁：大項目　　a1
　　2 桁：中項目　　a1.1
　　3 桁：小項目　　a1.1.1

【③】 各評価項目の記載は、JEITA の場合、大項目、中項目をすべて体言止めの表示とし、小項目を、体言止めの表示と文章での表示の混合としているが、今回は、評価項目が、WG2 各委員のアンケート調査の対象となることから、すべてを、“体言止め”の表示とすることにした。

3.3.2 代表的な環境適合設計の評価項目に対するアンケート調査結果

【④】 **表 3.6** の右欄に示す通りであり、WG2 委員からは、ランク付けと評価項目に対する意見をアンケート調査した。各委員が所属する企業で関与する製品によって、アンケート調査結果が異なるので、各委員からの提案を生データのまま列記して記載した。このため、**表 3.6** に記載した内容には、類似の表現と思われるものが列記されている場合もあるが、その表現が関連する製品の位置付けを表す重要な要素であると判断されることから、今回は、各委員の表現をそのまま列記して記載することにした。

【⑤】 このため、各アンケート結果が、どのような製品に関与した委員の意見であるかを示す必要性があり、各意見の最後に提案した委員 No.を**表 3.1** に従って記載して示した。**表 3.6** を利用しやすくする意味で、次に、**表 3.1** の内容を示す。

委員 No	委員が関与する製品名	委員 No	委員が関与する製品名
①	環境装置	⑥	重電機器
②	風水力機械	⑦	産業用ロボット
③	原動機	⑧	金属工作機械
④	風水力機械	⑨	金属工作機械
⑤	分析機器	⑩	金属工作機械

上記の製品名は、“通商産業省(現 経済産業省)監修の機械情報産業便覧”の製品分類名で記載

【⑥】 また、各評価項目に関するアンケート調査結果としての各委員の意見の記載は、体言止めで表示されている各評価項目に対する意見の記述のため、主に“～であるか”のように疑問形の文章で表示することにした。

【⑦】 “機械工業分野向け 代表的な環境適合設計・評価項目”は、委員の関与する製品によって、その必要性が異なってくるので、アンケート調査として、各評価項目の必要性のランク付けに関しても各委員の意見を聞くことにした。

この評価項目の必要性のためのランク付を、次に示すような 3 区分に定めた。

	例えば、ISO 規格での
A ランク：必要不可欠な評価項目	shall 項目
B ランク：必要な評価項目	should 項目
C ランク：存在した方が望ましい評価項目	may 項目

表 3.6 での、各委員からのランク付けの調査結果の記載順番は、委員の記載順番と同一にし

た。次にその一例を示す。

B，A，A，B，A　（ランク付けの記載順番）
↑　↑　↑　↑　↑
①、④、⑤、⑥、⑩　（提案者の記載順番）

【⑧】 **表 3.6** に示す各評価項目に関するアンケート調査結果は、【④】で説明した理由で、各委員から提案された内容が、生データの状態で表示されており、用語などで、専門性を帯びているものや難解なものが含まれているが、これらに関しては、次に示すような参考文献などを活用して対処してほしい。

JIS 工業用語大辞典、㈶日本規格協会
ISO 14000 環境マネジメント便覧、㈶日本規格協会
他、各辞典、文献、関係する学会や工業会の報告書、用語集

なお、特別な専門用語に関しては、**表 3.6** の備考欄に解説を記載した。

また、本調査研究では、有害化学物質に関しての検討は対象外で、本報告書への個別の有害化学物質の記載は、事例としての表示などを除いて行わないこととしているが、【④】で説明した理由で、各委員から提案された内容が、生データの状態で表示されていることから、**表 3.6** には、特例として、個別の有害化学物質に関する表示も含まれている。

これら化学物質に関する情報は、有害化学物質の供給者から提供される化学物質等安全データーシート（MSDS）(JIS Z 7250 参照) や Web から、例えば、ICSC カード(国際化学物質安全カード) http://www.nihs.go.jp./ICSC/ などから入手して対処してほしい。

3.4 “機械工業分野向け代表的な環境適合設計評価項目”の各項目に対するアンケート結果の使い方と使用範囲

表 3.5 に示す“機械工業分野向け代表的な環境適合設計・評価項目”と、それら各評価項目に対する、**表 3.6** に示す通りの“アンケート調査結果”は、それらに関する検討を通して、環境適合設計に関する機械工業分野の特徴づけを明確にすることを目的として行った成果である。

ただし、**表 3.5** に示す、“機械工業分野向け代表的な環境適合設計・評価項目”と **表 3.6** に示すアンケート調査結果は、**表 3.1** に示す、WG2 の委員の企業で生産している製品を対象にしたものであり、機械工業分野の全体を対象としていない。

しかし、審議の過程で、これら“機械工業分野向け代表的な環境適合設計・評価項目”は、色々なケースで使われ、有用であることが判明したので、参考までに、それらの活用の仕方について主なものを次に記載した。これらの内容は、主に、利用者に情報提供の役割を果たすもので、利用者が、これらの内容の必要な部分を選択し、また不必要な部分を削除し、或いは、必要に応じて、別の内容を加えて、使いこなすことが必要となる。また、これらの内容は、色々な使われ方に対して自ずから限界があり、参考までに、審議過程で得られた注意事項やその使用範囲についても記載を行った。

表 3.5 に示す“機械工業分野向け代表的な環境適合設計・評価項目”は、広範囲にわたる機械工業分野の製品を包括する環境適合設計の規格・指針として作成したものではなくて、機械工業分野の代表的な評価項目にすぎないので注意を要する。包括的な規格・指針作成を行う場合は、次に詳細を述べるが、いくつかの情報を取り込み、必要な審議過程を経て作成することが必要となる。

⑴ “製品の設計仕様の決定時”に活用

企業で製品に環境適合設計を導入する際、設計の初期段階で導入することが重要である。特に、製品の企画段階で製品設計仕様を決定するとき、或いは、顧客との打合せで設計仕様を決定するとき、それらの製品設計仕様に環境適合性を導入することが重要である。この際、**表 3.5** に示す、“機械工業分野向け代表的な環境適合設計・評価項目”や、それらに対する WG2 の委員の意見を纏めた、**表 3.6** に示すアンケート調査結果が、参考になり、有用であると思われる。

⑵ “環境調和型品質機能展開（QFDE）の実施”に活用

昨年度の分科会報告書[1)] の 5.1.1 項に示す通り、環境適合設計を効率良く進めるためには、設計の各段階で適切な支援ツールが必要であり、特に、設計の初期段階で使用されるツールとして環境側面を考慮した品質機能展開が重要な存在となる。この品質機能展開は、環境要求（ユーザーが製品に求める環境側面からの要求）を、従来の顧客要求（ユーザーが製品に求める品質）と同等に扱うことですすめられており、この際、環境要求を求めるのが重要になる。このような場面において、**表 3.5** に示す、“ 機械工業分野向け代表的な環境適合設計・評価項目”が参考になり、漏れなく環境要求を抽出する上で、有用と思われる。本分科会 WG1 活動で求めた、環境要求も、**表 3.5** に示す“機械工業分野向け代表的な環境適合設計・評価項目”でかなり網羅されている。

⑶ 環境適合設計手法としての“チェックリスト作成”に活用

昨年度の分科会報告書[1)] の 5.1.1 項に示す通り、環境適合設計を効率良く進めるためには、設計の各段階で適切な支援ツールが必要となり、QFDE、LCA と併せチェックリストが重要な存在となる。機械工業分野の各企業や工業会で、このチェックリストを作成する場合、**表 3.5** に示す、“機械工業分野向け代表的な環境適合設計・評価項目”や、それらに対する WG2 の委員の意見を纏めた**表 3.6** に示すアンケート調査結果が、参考になると思われる。

なお、具体的に製品のチェックリストを作成する場合、機械工業分野の製品でも、大半が基板の入った制御装置や電気装置も組み込まれており、これらに対しては、電気電子分野の工業会などで作成した資料や規格を別途参考にする追加手段が必要になる。また、例えば、製品を構成している部品及びユニット品を、自社で設計製作する場合と他から購入する場合では、チェックリストの内容も異なり、実際のチェックリスト作成上種々の事柄が生じるが、利用者側で、それぞれの状況に応じて、本報告結果の使い分けを行うことが必要となる。

⑷ “製品のデザインレビュー(DR)”に活用

3.2.4.3 項に記載したように、DR は製品の企画段階から試作段階、量産前段階などのフェーズに分けて行なわれる。この際、環境適合設計が適切に導入されたかどうかを検討し審査するのに、**表 3.5** に示す、“機械工業分野向け代表的な環境適合設計・評価項目”や、それらに対する WG2 の委員の意見を纏めた、**表 3.6** に示すアンケート調査結果が、参考になり有用と思われる。

⑸ **“工業会や企業の環境適合設計の指針作成”に活用**

工業会や企業では、製品の仕様、特性、構造等に関して標準化が必要となり、このため製品の規格・指針等の作成が必要となる。この場合、環境適合設計に関係する製品の評価項目として、**表 3.5** に示す、“機械工業分野向け代表的な環境適合設計・評価項目”や、それらに対する WG2 の委員の意見を纏めた、**表 3.6** に示すアンケート調査結果が、参考になり有用と思われる。**(3.5 項** 参照)

この場合も、上記 **(3) 項**と同様に、本報告結果以外の情報が必要になることもありうるし、また、利用者側で、本報告の使い分けを行うことも必要となりうる。

⑹ **機械工業分野の“包括的な環境適合設計の指針作成”に活用**

機械工業分野の各工業会が、関係する製品の環境適合設計の規格・指針作成を行い、機械工業分野全体として環境適合設計の標準化が進んだ段階では、これら製品を包括する環境適合設計の規格・指針の作成が求められることも生じうる。この場合には、**表 3.5** に示す、“機械工業分野向け代表的な環境適合設計・評価項目”や、それらに対する WG2 の委員の意見を纏めた、**表 3.6** に示すアンケート調査結果が、参考になり有用と思われる。この場合、当然であるが、各工業会が作成した、関係する製品の環境適合設計の規格・指針の内容を取り込んで整合性を図り、さらには、**表 3.1** に示す製品以外の製品に基づく情報を取り込むことなどが必要になり、その上、規格・指針作成に必要な委員構成で、規格・指針作成の権限を持つ審議団体に所属する委員会などで審議することが必要となる。

＜参考文献＞

1）㈳日本機械工業連合会：環境適合設計手法の標準化に関する調査研究、平成 15 年

3.5 各工業会でのセクトラルな指針作成へのアプローチの実施例

本年度の検討は、各機械工業会の専門家に参加して頂いて行ったが、各工業会では、セクトラルな指針作成を進めているところもあり、今回作成した“機械工業分野向け代表的な環境適合設計・評価項目”を活用し、工業会で指針検討を行うための一事例研究を行った。

具体的には、まず、機械工業分野の代表的な評価項目を ㈳日本ロボット工業会傘下の企業に適用した場合の評価に関し、一実施例としてアンケート調査を行った。**表 3.8** に、そのアンケート用紙の一部を示す。また、㈳日本ロボット工業会では、これらの内容を活用し、傘下の企業を対象とした産業用ロボットに関する環境適合設計の指針作成活動を行っているので、その状況について、次に示す。

㈳日本ロボット工業会では、日本工業標準調査会 標準部会産業オートメーション技術専門委員会による環境配慮規格整備方針策定の決定を受け、また主要な会員からの要望もあり、環境 JIS の策定のために、平成 15 年度より「環境設計評価基準調査専門委員会(委員長：丸山哲　パナソニックファクトリーソリューションズ㈱)」を設置し、検討を開始した。

環境適合設計評価基準調査専門委員会では、本年度から 3 カ年計画で、環境適合設計に対する評価項目及び項目に対する評価基準についての標準化調査研究を実施し、それらの結果を踏まえ、JIS

原案の策定を行うこととしている。

初年度である本年度は、まず、委員として参画しているロボットメーカ主要 11 社の環境適合設計に対する取組み状況を把握するための調査を実施した。その結果、主要ロボットメーカ各社とも、レベルに差はあるものの、環境適合設計に対して何らかの取り組みを実施しており、今後さらに積極的に取り組んでいく方針であることが分かった。

また関連団体おける環境適合設計に関する標準化状況についても調査を行ったが、その結果、㈳日本工作機械工業会などにおいて、活発な取り組みが行われていることがわかり、それらの結果に基づき、**表 3.8** を参考にして環境適合設計評価基準調査専門委員会として、ロボットメーカ主要 11 社に対して、環境適合設計に対する評価項目についてのアンケート調査を実施することにした。アンケート内容については ㈳日本機械工業連合会の環境適合設計手法標準化分科会で実施した「環境適合設計の評価項目に関するアンケート」の内容を活用して作成を行った。なお、アンケートの結果については、現在、環境適合設計評価基準調査専門委員会において取りまとめ中であり、その結果に基づき、産業用ロボットにおける環境適合設計評価項目の設定を行っていくことにしている。

今後、本調査研究結果は、機械工業分野で、種々の活用展開が考えられ、これらに基づき、各機械工業分野でのセクトラルな指針の標準化へ展開することが考えられる。

表 3.6　環境適合設計の評価項目に関するアンケート調査結果

【機械工業分野向け 代表的な環境適合設計評価項目を対象】

【I_3】：機械工業分野向け 代表的な環境適合設計･評価項目※1			【I_3】(環境適合設計･評価項目)に関するアンケート調査結果※2	
大項目	中項目	小項目	ランク付け※4 調査結果	環境適合設計･評価項目に関するアンケート調査結果
a1．省エネルギーの評価			A,A	（③，⑥）
			A	a1.0 省エネルギー設計（仕様）（⑥）※3
			A	1. 使用条件、サイト条件、輸送条件などを総合して、環境負荷最適化を志向した仕様となっているか（⑥）
	a1.1 製造工程の省エネルギー		A,B	（③，⑥）
			A	1. プロセスで使うエネルギーの監視・管理は十分か／改善策を講じたか（②）
		a1.1.1 電気エネルギー使用量削減	B,A,A,B,A	1. 製造時に大電力や特殊な設備を必要としないか（①，④，⑤，⑥，⑩）（防音、防振、排気、電磁シールドなど）
			A,A	2. 製造時の電力／石油／ガス／水の使用量は削減されているか（④，⑦）
			B	3. 製造時のエア漏れ対策やエア圧最適化によりコンプレッサー電力使用量が削減されているか（⑧）
			A,A	4. 製造時各工程（素材製造、部品加工、組立）で、エネルギー消費量を削減するような方策を採っているか（②，⑨）
			B	5. 省エネルギー加工方法を採用しているか（電力、燃料、水など）（③）
			C	6. 試運転方法が省エネルギーとなるように設計的に検討されているか（③）
			A	7. 工程の短縮や結合が考慮されているか（④）
			A	8. 既存の工程での生産が可能か（④）
			A	9. 形状はシンプルで複雑な加工を必要としていないか（④）
			B	10. 加工物量の削減化を図っているか（③）
			B	11. 加工方法の最適化を図っているか（③）
			A	12. 部品の共有化・モジュール化が図られているか（④）
			B	13. 横持ち、段取り直しの少ない設計になっているか（①）
		a1.1.2 熱エネルギー使用量削減		
	a1.2 物流／据付時の省エネルギー		B,A	（③，⑥）
			―	物流の定義が不明確なため「梱包、輸送の環境影響」評価として記載した（③）
		a1.2.1 据付時の省エネルギー設計，特殊設備の排除	B,B,B,A,A	1. 据付時に大電力や特殊な設備を必要としないか（①，④，⑤，⑥，⑩）（防音、防振、排気、電磁シールドなど）
			B	2. 据付時のエネルギー消費量を削減する様な構造、仕様になっているか（⑨）
			A	3. 据付が省エネルギーな方法となるように設計的に検討されているか（②）
			B	4. 据付方法が省エネルギーな方法となるように設計的に検討されているか（③）
			―	5. 製品ライフサイクルを通じたロジスティクスの最適化や、モーダルシフトに関する評価項目が必要なのではないか（②）
		a1.2.2 輸送経路の最適化	A	1. 製品輸送時、輸送距離、積み数を考慮しているか（⑦）
			B	2. 部品配送、製品配送のエネルギー削減を検討しているか（②）
		a1.2.3 積載効率改善	A,A	1. 輸送時のサイズを考慮した設計としているか梱包に配慮したか特殊な容器を必要としないか（⑧，⑩）
			B,B	2. 大型特殊車両でなく普通車両にて運搬が出来、現地での組立てが容易か（④，⑧）
			C	3. 積載効率が最適な製品（部品）構造・寸法となるように設計的に検討されているか（③）
	a1.3 使用時の省エネルギー		A,A	（③，⑥）
		a1.3.1 省エネルギー型部品の開発、採用	A	1. 部分負荷運転を含む、通常動作時のエネルギー消費を抑える改善策が導入されているか（②）

【I_3】：機械工業分野向け 代表的な環境適合設計･評価項目※1			【I_3】(環境適合設計･評価項目)に関するアンケート調査結果※2	
大項目	中項目	小項目	ランク付け※4 調査結果	環境適合設計･評価項目に関するアンケート調査結果
			A,A,A,A	2. 省エネルギー型部品の開発、採用をしているか（①，③，⑤，⑧）
			A,A	3. 省エネルギー型製品の開発をしているか（③，⑥）
			A,A,A	4. 低電力消費型部品の開発、採用をしているか（①，⑥，⑧）
			A	5. 低エネルギー消費型の開発をしているか（⑦）
			A,A	6. 省エネルギー型製品、部品の開発、採用をしているか（②，⑨）
			A	7. エネルギー消費量を削減するような構造、仕様になっているか（⑨）
		a1.3.2 **省エネルギー運転** **(1) 節電機能の有無、機能の向上など** **(2) 起動／停止時のエネルギーロスの低減** **(3) 運転状態により、エネルギー消費効率を良くする機能(過負荷 解除機能など)の採用** a1.3.3 **エネルギー消費量を削減するようなシステム構成**	A,A,B,A	1. 低電力モード機能の採用をしているか（①，④，⑥，⑧）
			A	2. 省電力モード機能の採用をしているか（⑤）
			B,A,B	3. 低負荷モード機能の採用をしているか（③，⑧，⑥）
			B	4. 省エネルギー仕様を採用しているか（③）
			A,B,A	5. 省電力仕様を採用しているか（①，⑥，⑧）
			A	6. 使用エネルギーを低く抑える機能を採用しているか（⑦）
			A	7. 従来同など機能製品と比較して、使用エネルギーを低く抑える機能を採用しているか（②）
			B,A,A,B,B	8. 電源オフ機能の採用をしているか（②，④，⑤，⑥，⑧）
			A	9. 省エネルギー機能を考慮してあるか（④）
			B,B,B	10. 過負荷解除機能の採用をしているか（②，⑥，⑧）
			A	11. 機器本体、冷却システムなどの全体系のエネルギー効率最適化が図られているか（⑥）
			A	12. 定格点以外の部分負荷運転全般におけるエネルギー効率の低下の防止が図られているか（②）
			C	13. エネルギー効率の低下を防止するための運転・メンテナンスマニュアルを整備しているか（③）
			B,B	14. エネルギー効率の低下の防止が図られているか（④，⑥）
			B,A	15. 省エネルギー運転方法を採用しているか（①，⑥）
			A	16. 運転状態により、エネルギー消費効率を良くするような機能を採用しているか（⑨）
			C,A,B	17. 長時間連続運転する機器の場合には、ディスプレイオフ機能などの省電力機能を有しているか（③，⑤，⑥）
			B	18. 長時間定常連続運転する機器の場合には、一部の制御ディスプレイをオフ(または減光)するなどの省電力機能を有しているか（②）
			A,A,A	19. 基本システムのエネルギー効率向上が図られているか（①，④，⑥）
			A	20. エネルギー効率向上をしているか（⑤）
			A	20. エネルギー効率向上をしているか（⑤）
			B	21. 製品全体システムのエネルギー効率向上を図っているか（③）
			B,B,A,A	22. 購入部品の性能・仕様と全体システム仕様とのバランスの最適化が図られているか（①，③，④，⑥）
			A	23. 切削油／研削油の使用を削減しているか（⑩）
			A	24. 省エネルギー加工法を採用しているか（⑩）
			C,C,C,A,A	25. 補機類のエネルギーの削減が図られているか（①，②，③，④，⑥）
			A	26. 切削油／研削油の温度調整は不要か（⑩）
			B,B,A,A	27. 低負荷運転時のエネルギー効率低下の防止が図られているか（①，③，④，⑥）
			C,C,A,A	28. 起動・停止時のエネルギーロスの低減が図られているか（①，③，④，⑥）
			C,B,B,A A	29. 機械作動ロスの削減が図られているか（①，②，③，④，⑥）
			A,C,A,A,A	30. 消費電力の大きいユニットについて重点的に省エネルギー対策が施されているか（②，③，④，⑤，⑥）
			A,C,A	31. ガス、重油、ガソリンなどのユーティリティの消費量削減をしているか（①，③，⑥）
			A	32. 従来類似製品(自社または同業他社)と比べてエネルギー(消費・発生)を低減しているか（④）

【I_3】：機械工業分野向け 代表的な環境適合設計･評価項目※1			【I_3】(環境適合設計･評価項目)に関するアンケート調査結果※2	
大項目	中項目	小項目	ランク付け※4 調査結果	環境適合設計･評価項目に関するアンケート調査結果
			B	33. 機能向上、対応向上でトータルエネルギーを削減しているか（⑦）
		a1.3.4 **エネルギー回収**	B,C,B,A	1. エネルギー回収が可能な場合、エネルギーを回収する装置を有しているか、またはエネルギー回収の装置を容易に付加できるように工夫されているか（①，③，④，⑥）
			A	2. 機械・設備に投入したエネルギー回収が可能な場合、エネルギーを回収する装置を有しているか、またはエネルギー回収の装置を容易に付加できるように工夫されているか（②）
			A	3. エネルギーのカスケード利用は可能かまたはエネルギーのカスケード利用を容易に付加できるように工夫されているか（②）
			A	4. エネルギー回収が可能な場合、エネルギーを回収する装置を有しているか、またはエネルギー回収の装置を容易に付加できるように工夫されているか、回収エネルギーの用途は決まっているか（⑨）
			C,C,C,A	5. エネルギー回収を行った場合、そのエネルギーの用途は決まっているか（①，③，⑤，⑥)
			A	6. エネルギー回収を図る場合、そのエネルギーの用途が存在するか（②） (本来、回収エネルギーの用途は顧客が決める)
			C	7. エネルギー回収を行った場合、その用途は決まっているか（④）
		a1.3.5 **動作環境条件の緩和（空調，クリーンルームなどの負荷低減)**	A	1. 動作温度や湿度が厳しくないか（⑤）
			A	2. 製造・試験場所と異なる環境でも正常に動作するか、考慮しているか（②）
			A	3. 特殊な設備環境（恒温室、防音、防振、クリーンルームなど）を必要としないか（⑩）
			A	4. 使用環境において、製品の省エネルギー効率の最適化が図られているか（⑥）
			A	5. 機器本体、冷却システムなどの全体系のエネルギー効率最適化が図られているか（⑥）
			B,C,B,A,B	6. 部品などの保存温度や湿度が厳しくないか（空調の必要性）（①，②，④，⑤，⑥）
	a1.4 **メンテナンスの省エネルギー**		B,A	（③，⑥）
		a1.4.1 **メンテナンス時の省エネルギー設計**	B,A,A,A	1. メンテナンス時に大電力や特殊な設備を必要としないか（①，④，⑤，⑥） （防音、防振、排気、電磁シールドなど）
			B	2. メンテナンス方法が省エネルギーな方法となるように設計的に検討されているか（③）
			A	3. メンテナンス時の電力消費を従来より抑える工夫が導入されているか（②）
			A	4. メンテナンスし易く、メンテナンス時のエネルギー消費量が低減出来る構造になっているか（⑨）
			A	5. **TPM**(Total Productive Maintenance)を考慮しているか（⑩）
			A	6. **MTBF**(平均故障間隔)、**MTTR**(平均修復時間)を考慮しているか（⑩）
			B	7. 製品がメンテナンスし易い構造になっているか（③） （ユニット、モジュール化による部品構成）
			A	8. メンテナンスで消費するエネルギーの監視・管理は十分か／改善策を講じたか（②）
			―	9. 分解容易性のためのモジュール化が行われているか（⑦）
			B	10. 製品が分解し易い構造になっているか（③） （ユニット、モジュール化による部品構成）
			A	11. 分解／リサイクル時のエネルギー消費量が削減できる材料、構造になっているか（⑨）
			A	12. 分解に要する時間、エネルギーの監視・管理は十分か／改善策を講じたか（②）
			C	13. 分解方法が省エネルギーな方法となるように設計的に検討されているか（③）
	a1.5 **消費エネルギー効率などの表示**		B,A	（③，⑥）
		a1.5.1 **カタログなどへの性能表示**	A,A,B,A,A,A,A	1. 購入者が製品選定に使用するカタログなどへの性能表示がされているか（①，②，③，④，⑤，⑥，⑧）
			A	2. カタログなどに仕様･性能などがうたいこまれているか（④）
			―	3. 製品選定に使用するカタログなどへの性能表示がされているか（⑦）

【I_3】：機械工業分野向け 代表的な環境適合設計･評価項目※1			【I_3】(環境適合設計･評価項目)に関するアンケート調査結果※2	
大項目	中項目	小項目	ランク付け※4 調査結果	環境適合設計･評価項目に関するアンケート調査結果
			A	4. 定格点以外の部分負荷における消費エネルギーについての性能表示がされているか（②）
a2．省資源の評価			A,A	（③，⑥）
	a2.1 製品の小型・軽量・省資源化		A,A	（③，⑥）
			B,C,A,A,B,B	1. 取扱説明書などは電子ファイル化されているか（①，③，④，⑤，⑥，⑧）
		a2.1.1 製品質量の削減	A,A,A,A,A,A	1. 製品の軽量化、小型化は行われているか（①，③，④，⑤，⑥，⑧，⑨）
			A	2. 構成部品の軽量化、小型化は行われているか（③）
			B	3. 製品の重量は削減されているか（⑦）
			A	4. 製品の重量、容積が従来の同等機能製品と比較して削減されているか（②）
		a2.1.2 製品体積の削減	A,A,A,B,A	5. 製品の体積や専有面積が削減されているか（①，③，⑥，⑦，⑧）
			A	6. 構成部品の容積が従来の部品に比較して削減されているか（⑧）
		a2.1.3 機器類の配置の最適化	B	1. 構成部品は最適配置されているか（③）
			B,A,A	2. 機器類の最適配置を考慮しているか（①，④，⑥）
			A	3. 機器類の配置、構造、寸法、加工方法を最適化しているか（②）
			B,A	4. 機器類の構造、寸法、加工方法を最適化しているか（①，⑥）
			B	5. 構成部品の構造、寸法を最適化しているか（③）
	a2.2 製造工程の省資源		A,A	（③，⑥）
		a2.2.1 水使用量削減	A	1. ガス、重油、ガソリンなどのユーティリティの消費量削減をしているか（⑤）
		a2.2.2 森林資源使用量削減	A	2. 製品の消耗及び使用部品点数を削減しているか（④）
		a2.2.3 枯渇性資源使用量削減（石油，貴金属など）	B,A,A,A	3. ユーティリティ（水など）の削減をしているか（①，②，⑤，⑥）
			A	4. 補助材の削減が考慮されているか（④）
			A	5. 材料及び製造工程のエネルギー資源の使用量の削減をしているか（⑨）
			A	6. 従来同等機能製品と比べ、素材使用量を削減しているか（②）
			C	7. 直接材料、間接材料（副資材）は削減されているか（⑦）
			C	8. 使用済みウエスの再使用をしているか（⑧）
			A	9. 切削油／研削油の使用量削減をしているか（⑩）
			B	10. 素材から製品への有効利用率は向上しているか（③）
			B	11. 製造方法（加工、組立など）が省資源な方法となるように設計的に検討されているか（水、ガス、副資材など）（③）
			B,A,A	12. 材料の厚みなどの余裕代を最適化しているか（①，④，⑥）
			A	13. 材料の厚みなどは必要以上に余裕を見ていないか（④）
			B	14. 材料の歩留まりの少ない板取になっているか（①）
			A	15. 工程から発生する廃棄物は再利用、リサイクルできているか（②）
			A	16. プロセスに投入する資源の監視・管理は十分か／改善策を講じたか（②）
	a2.3 物流／据付時の省資源		A,A	（③，⑥）
			B	1. 据付方法が省資源な方法となるように設計的に検討されているか（水、ガス、副資材など）（③）
		a2.3.1 包装(梱包)材及び緩衝材の使用量削減	A,A	1. 包装(梱包)、緩衝資材の使用量は削減されているか（④，⑧）
			B,A,B,A,B	2. 包装(梱包)、緩衝資材の使用量は削減されているか（①，②，③，⑤，⑥） (1) 重量、容積の削減

【I_3】：機械工業分野向け 代表的な環境適合設計･評価項目※1			【I_3】(環境適合設計･評価項目)に関するアンケート調査結果※2	
大項目	中項目	小項目	ランク付け※4 調査結果	環境適合設計･評価項目に関するアンケート調査結果
		a2.3.2 **リサイクル可能材料の利用**	C,A,B,A,B, B	1. 包装資材はリサイクル資材を利用しているか （①，②，③，⑤，⑥，⑧） (1) 再生紙､パルプモールド、再生プラスチック
			C,C,B,A,B, B	2. 包装(梱包)材、緩衝材は、リサイクル可能な材質を使用しているか（①，③，④，⑤，⑥，⑧） (1) ダンボール、パルプモールド、非木材繊維、発泡スチロールなど
			A	3. 包装(梱包)材、緩衝材は、リサイクルし易い物質を使用しているか（②） (1) ダンボール、パルプモールド、非木材繊維、発泡スチロールなど
			C,B	4. 包装(梱包)材、緩衝材は、リサイクル可能な材料と阻害物質との分離は容易か（③，⑧）
			C,A,A,A,B	5. 包装(梱包)材、緩衝材は、リサイクル可能な材料と阻害物質との分離は容易か（①，②，④，⑤，⑥） (1) ダンボール類と異種材質の分離 封緘テープ(布テープ、ビニールテープなど)、発泡スチロール、発泡ウレタン材、ホッチキスなど (2) 発泡スチレン材料と異種材質との分離 ビニールテープ、紙ラベル、異種材シールなど
			B,A,C,A,A	6. プラスチック材質の包装(梱包)材、緩衝材には、材質表示がされているか（①，②，③，⑤，⑥） (1) JIS 規格による材質表示
			A	7. 包装(梱包)材、緩衝材には、材質表示がされているか（④）
		a2.3.3 **リユースに適した包装(梱包)材の選択（通い箱 使用など）**	C,C,A,B,B	1. 包装(梱包)材は、リユースに適した材料、構造か（①，③，⑤，⑥，⑧）
			C,B,C,B,A, B,B	2. 包装(梱包)材、緩衝材は、繰り返し使用に適した材料、構造か（①，②，③，④，⑤，⑥，⑧）
			C	3. リターナブルシステムを採用しているか（③）
		a2.3.4 **収集・運搬が容易な梱包材の使用（折りたたみ構造 など）**	C,A,C,A,B	1. 収集・運搬は容易か（①，②，③，⑤，⑥） (1) 折りたたみなどによる容積削減
	a2.4 **使用時の省資源**		A,B	（③，⑥）
		a2.4.1 **修理交換、消耗部品の資源使用削減**	A,A,B,A,A, B,A	1. 消耗品の消費量は削減されているか （①，②，③，④，⑤，⑥，⑧）
		a2.4.2 **水使用量削減** a2.4.3 **森林資源使用量削減** a2.4.4 **枯渇性資源使用量削減（石油，貴金属など）**	B	1. 原料の有効利用率は向上しているか（③）
	a2.5 **メンテナンスの省資源**		B,A	（③，⑥）
		a2.5.1 **修理，保守，清掃作業の容易化**	A	1. 製品、部品の清掃は容易か（⑩） (1) 清掃可能か、清掃しやすい構造になっているか
			C,A,A	2. 製品、部品の清掃は容易か（①，⑤，⑥） (1) 清掃可能か、清掃しやすい構造になっているか (2) 汚れにくい素材の採用、構造になっているか
			A	3. 製品、部品の清掃は容易か（②） (1) 清掃しやすい構造になっているか (2) 汚れにくい素材の採用、構造になっているか
			A	4. 製品の保全性(清掃・点検・修理など)は良いか（④）
			A	5. メンテナンスし易い構造（分解、再組立含めて）になっているか（⑨） (1) 点検、修理し易い構造になっているか (2) 汚れにくい素材の採用、構造になっているか (3) 清掃可能か、清掃しやすい構造になっているか
			B	6. メンテナンス方法が省資源な方法となるように設計的に検討されているか（水、ガス、副資材など）（③）
			A	7. 特殊設備や工具を使わず分解・修理が可能か（④）
			A,A,A,A,	8. 製品の修理／保守性は向上しているか（①，②，⑤，⑥） (1) 修理及び保守作業が容易な構造 (2) 修理及び保守作業者への情報提供 (3) 修理及び保守作業要領の情報整備
			A,A	9. 製品の修理／保守性は向上しているか（⑦，⑧） (1) 修理及び保守作業が容易な構造
			B	10. 製品の保守性は向上しているか（③） (1) 保守作業が容易な構造 (2) 保守作業者への情報提供

【I_3】：機械工業分野向け 代表的な環境適合設計･評価項目※1			【I_3】(環境適合設計･評価項目)に関するアンケート調査結果※2	
大項目	中項目	小項目	ランク付け※4 調査結果	環境適合設計･評価項目に関するアンケート調査結果
			C,A,B	11. 工場ではなく、製品設置現場でのメンテナンス性(分解、再組立性)は良いか（①，⑤，⑥）
			B	12. メンテナンス方法は適正化されているか（③）
			A	13. 保守・修理の必要性の高い部位・部品を特定しているか（②）
			A	14. 保守・修理の必要性の高い部位・部品にアクセスし易い構造・組立方法となっているか（②）
	a2.6 **リユース性**		C	（⑥）
		a2.6.1 **部品取り外し，解体分解が容易な設計** (1) **一般的な工具での解体・分離性** (2) **同一方向からの解体・分離性** (3) **接着、溶接などによる分離困難な接合回避** (4) **重量物は底面からの解体の回避** (5) **処理者にとって安全な構造**	B	1. リユース可能な部品､ユニットを使用しているか(装着ヘッドなど)（⑦）
		a2.6.2 **部品数の削減**		
		a2.6.3 **標準規格部品の使用**		
	a2.7 **長寿命性**		A,A	（③，⑥）
		a2.7.1 **製品の増設性(アップグレード性)**	B,A,A,A,A	1. 製品の増設性(アップグレード性)は向上しているか（①，④，⑤，⑥，⑧） (1) 増設(アップグレード)容易な構造 (2) 増設(アップグレード)可能な機能の範囲や種類(数)
			A	2. 製品のグレードアップに対応は可能か（④）
			A	3. 製品の更新性(アップグレード性)は向上しているか（②） (1) 更新(アップグレード)容易な構造 (2) 更新(アップグレード)可能な機能の範囲や種類(数)
		a2.7.2 **耐久性向上**	A	1. 耐久性は向上しているか（②）
			A,A	2. 耐久性は向上しているか（⑤，⑥） (1) 長寿命化部品の使用
			A	3. 耐久性は向上しているか（①） (1) 長寿命化部品の使用 (2) 長寿命材の使用 (3) 要求仕様との適正化
			B	4. 耐久性は向上しているか（③） (1) 長寿命化部品の使用 (2) 長寿命材の使用 (3) 材質の適正化
			A,A	5. 使用部品や材料の耐久性は向上しているか（④，⑧）
			A	6. 耐久性は向上しているか（⑦） (1) 長寿命化部品の使用 (2) 保守間隔の長期化、保守の不要な構造及び部品の使用 寿命を表すパラメーターは 寿命＝個々の物理化学特性×使用状況 ではないか（②）
			A	7. 耐久性は向上しているか（⑨） (1) 長寿命化部品の使用 (2) **MTBF**(平均故障間隔)の改善 (3) 保守間隔の長期化、保守の不要な構造及び部品の使用
			B,C,B,B,A,A	8. 各部品間の耐久性のバランスはうまく取れているか（①，②，③，④，⑤，⑥）
			A	9. ユニット、部品の寿命は明確か（⑧）
			B,A,B,A,B	10. ユニット、部品の寿命は明確か（①，②，③，⑤，⑥） (1) ユニット、部品ごとの寿命 (2) ユニット、部品ごとの製造年月把握
			B	11. ユニット、部品のライフサイクルを把握しているか（④）
	a2.8 **リサイクル可能性**		B,A	（③，⑥）

【I_3】：機械工業分野向け 代表的な環境適合設計･評価項目※1			【I_3】(環境適合設計･評価項目)に関するアンケート調査結果※2	
大項目	中項目	小項目	ランク付け※4 調査結果	環境適合設計･評価項目に関するアンケート調査結果
		a2.8.1 **リサイクルが可能な材料、部品などの使用**	B,A,A	1. リサイクルが可能な材料、部品などを使用しているか（③，④，⑧）
			C,A,A,A	2. リサイクルが可能な材料、部品などを使用しているか（①，②，⑤，⑥） (1) 貴金属、希少金属類で高額材料を含む部品の種類、重量 (2) 鉄、銅、アルミニウムなどの汎用金属類の種類、重量 (3) マテリアルリサイクルに適したプラスチック(熱可塑性)の種類、重量
			C	3. オーバーホールを考慮した設計としているか（⑩）
		a2.8.2 **リサイクルを目的とした分解・分離**	B	1. 再資源化原料としての利用が可能な材料、部品にするための解体・分離は容易か（⑧）
			A,A,A	2. 再資源化原料としての利用が可能な材料、部品にするための解体・分離は容易か（②，⑤，⑥） (1) 貴金属含有部品、汎用金属部品、マテリアルリサイクル用プラスチック部品、ガラス部品などへの解体、分離性容易
			C, B	3. 再資源化原料としての利用が可能な材料、部品にするための解体・分離は容易か（①，③） (1) 貴金属含有部品、汎用金属部品、マテリアルリサイクル用プラスチック部品、ガラス部品などへの解体、分離性容易 (2) リチウム電池などの二次電池の取り外し容易な構造
			A	4. 製品・部品類の解体・分離は容易か（④）
			B,C	5. 異種材料の分離が容易な構造か（③，⑧）
			B,A,A,A	6. 異種材料の分離が容易な構造か（①，②，⑤，⑥） (1) 異種接着剤接着、溶接、かしめなどの接合箇所の最少化 (2) プラスチック部品へのインサートネジ埋め込み回避 (3) プラスチック部品の接合方法の工夫(差し込み･スナップ結合)
			B,C	7. リサイクルのための解体・分離方法が確立され、その工数が削減されているか（③，⑧）
			B,A,A,B	8. リサイクルのための解体・分離方法が確立され、その工数が削減されているか（①，②，⑤，⑥） (1) 一般的な工具での解体・分離性 (2) 同一方向からの解体・分離性 (3) 重量物は底面からの解体の回避（一人作業での解体容易性）
		a2.8.3 **リサイクルを阻害する材料、部品を容易に分離できる構造**	C,A,B	1. 複合材料の使用、リサイクルを阻害する加工などは削減しているか（③，④，⑧）
			C,A,B	2. 複合材料の使用、リサイクルを阻害する加工などは削減しているか（①，⑤，⑥） (1) 金属とプラスチック、FRP などの複合材料、部品の削減 (2) 部材主成分と異なる材質の金属めっき、塗装、樹脂コーティングの回避
			A	3. 傾斜機能材料※5などの複合材料の使用、及びリサイクルを阻害する材料などは削減しているか（②）
			B	4. リサイクルを阻害する材料、部品が容易に分離できる構造か（⑧）
			B,A,B,A,A	5. リサイクルを阻害する材料、部品が容易に分離できる構造か（①，②，③，⑤，⑥） (1) 分離箇所が容易に見つけられる工夫、表示
			A	6. リサイクルが困難な材料の識別は容易か（④）
			C,A,C,A,A	7. リサイクルが困難な材料の判断は容易か（①，②，③，⑤，⑥）
		a2.8.4 **プラスチックの熱回収利用を阻害する添加剤などの使用回避**	C,A	1. プラスチックの熱回収利用を阻害する添加剤などの使用は、回避しているか（③，④）
			B,A,B	2. プラスチックの熱回収利用を阻害する添加剤などの使用は、回避しているか（①，⑤，⑥） (1) カドミウム、鉛、水銀、六価クロム、及び PBB、PBDE の特定臭素系難燃剤などの回避
			A	3. リサイクルを阻害する化学物質の使用を回避しているか（②） (1) カドミウム、鉛、六価クロム、水銀、PBB、PBDE などの使用の回避 (2) その他、ボランタリープログラムの実施
			B	4. 再生を妨げる表面処理の使用を回避しているか（⑧）
		a2.8.5 **原材料の標準化及び使用材料種類の削減**	B,A,A,A	1. 使用材料の種類は統合しているか（①，②，⑤，⑥）
			A	2. 使用材料の種類は可能な限り統合しているか（④）

【I_3】：機械工業分野向け 代表的な環境適合設計･評価項目※1			【I_3】(環境適合設計･評価項目)に関するアンケート調査結果※2	
大項目	**中項目**	**小項目**	**ランク付け※4 調査結果**	**環境適合設計･評価項目に関するアンケート調査結果**
			B	3. 使用材料の種類は統合しているか（⑧）
			B,A	4. 使用材料の種類は統合しているか（①，⑥） (1) フレーム、シャーシなどは、単一な材料で統合、ユニット化
			C	5. 使用材料の種類を削減しているか（③）
			C	6. 原材料の標準化をしているか（⑧）
		a2.8.6 **材料名の表記**	B,A,B,A,A	1. 材料名の表記がされているか（①，②，③，⑤，⑥） (1) プラスチックは JIS 規格に従った記号で表示 (2) 表示方法は、判別が容易な適切な大きさ、場所
			A	2. 使用後の製品が分別回収し易いよう材質などの表示がされているか（④）
		a2.8.7 **リサイクル方法の明確化（市場にて）**	C,A,C,C,B,B	1. リサイクル方法が明確になっているか（市場にて）（①，②，③，④，⑤，⑥）
a3．**処理容易性の評価**			B,A	（③，⑥）
	a3.1 **回収の容易性**		B,B	（③，⑥）
		a3.1.1 **回収のための分解、移動の容易性**	A	1. 製品は容易に移動、運搬ができるか（④）
			A	2. 容易に移動、運搬ができるか（⑧）
			C,A,B,A,B	3. 容易に移動、運搬ができるか（①，②，③，⑤，⑥） (1) 重量分布、低重心、製品本体重量、重機運搬可能な構造 (2) 機械の省スペース化、機械装置の一体化、輸送搬送時分離化
	a3.2 **分解の容易・安全性**		B,A	（③，⑥）
			A	1. 機械内部油、排ガスの処理が可能な構造か（⑩）
		a3.2.1 **部品点数削減**	B,A,C,B,B	1. 部品点数削減のためのモジュール化が行われているか（①，②，③，⑤，⑥）
			B,B,A,A	2. 部品数、ねじなどが削減されているか（①，②，⑤，⑥）
			A	3. 銅管、ホース類は容易に事前に分離できるか（⑩）
		a3.2.2 **部品などの材質判別の容易性**	A	1. 作業者にとって分別のための材料、部品などの材質判別は容易か（④）
			A,A,B,A,A	2. 作業者にとって分別のための材料、部品などの材質判別は容易か（①，②，③，⑥，⑧） (1) 素材ごとに成分表示がついているか (2) 判別が容易な適切な大きさ、場所か
			B	3. 作業者にとって分別のための材料、部品などの材質判別は容易か（③） (1) プラスチック部品には、JIS 規格に従った記号で表示 (2) 表示方法は、判別が容易な適切な大きさ、場所か
	a3.3 **最終処分･リサイクル処理の容易・安全性**		B,A	（③，⑥） a3.3 最終処分の容易・安全性（②）
		a3.3.1 **破砕／切断が困難部品の分離容易化設計**	C,A,A,A	1. 破砕／切断が困難、あるいは破砕機を損傷するものは容易に事前分離できるか（①，④，⑤，⑥） (1) 硬質部品、柔軟な材料、長尺
			A	2. 破砕／切断が困難、あるいは破砕機を損傷もしくは汚染するものは容易に事前分離できるか（②）
			A	3. 電気部品(制御盤、操作盤)、スイッチ、モーターは容易に事前に分離できるか（⑩）
		a3.3.2 **処理作業の安全性**	C,A,A	1. 処理作業者にとって取り扱いが安全な構造になっているか（①，⑤，⑥）
			A	2. 処理作業の際、作業者に危害を及ぼすような構造になっていないか（④）
			A	3. 分離・選別が安全かつ容易に行えるか（②）
			A	4. 廃棄時危険防止が必要な部品について注意事項の表示がしてあるか（⑧）
			C,A,B	5. 事前に選別した部品の分離は容易か（①，⑤，⑥） (1) 粉じん爆発、引火などの可能性のある部品 (2) 爆縮性、高圧力などの特殊部品
			C,A,B	6. 事前に選別を容易にする表示は明解か（①，⑤，⑥）
			A	7. 選別を要する部品及び選別方法が表示されているか（②）

【I_3】：機械工業分野向け 代表的な環境適合設計･評価項目※1			【I_3】(環境適合設計･評価項目)に関するアンケート調査結果※2	
大項目	中項目	小項目	ランク付け※4 調査結果	環境適合設計･評価項目に関するアンケート調査結果
			A	8. 危険を回避するために処理前に選別・分離をするものについての情報提供は十分か（④）
		a3.3.3 **回収、適正処理、リサイクルルートの確立**	A	1. 回収・最終処分に関する廃棄ルートや廃棄方法が明確にされているか（②）
			C,A,B,A	2. 回収・リサイクル・処理に関する廃棄ルートは明確になっているか（①，④，⑤，⑥）
			A	3. 事前に選別・分離した部品などは安全且つ適正に処理できるか（④）
			C,B,B	4. 事前に選別した部品などは適正処理できるか（①，⑤，⑥） (1) 適正処理技術の確認
			C,B,B,A,A,A	5. 回収方法／リサイクルルートは確立されているか（①，②，③，⑤，⑥，⑧）
			B,A	6. 回収・適正処理方法及びリサイクルルートは確立されているか（③，⑤）
			B,A,A,A	7. 分離された環境影響化学物質を含む部品類の適正処理方法はあるか（③，⑤，⑥，⑧）
			B	8. 廃棄物中の有害化学物質の適正処理方法は確立されているか（③）
		a3.3.4 **最終処分時を考慮した有害化学物質含有量削減**	A	1. 基板などの鉛ハンダは削減されているか（④）
			A	2. 塗装塗料には鉛、六価クロムなどの有害物質が含まれていないか（④）
			A	3. 鉛、カドミウム、六価クロム、水銀などの有害物質を含有した複合材料が使われていないか（④）
			A	a3.4 処理に関する情報表示（⑥）
a4．**環境保全の評価**			A,A	（③，⑥）
	a4.1 **安全な材料、部品などの選択**		B,A	（③，⑥）
		a4.1.1 **環境や人の健康に影響が考えられる物質の部品などへの含有最小化**	A	1. 環境や人の健康、安全に影響が考えられる化学物質の使用は回避されているか（④）
			A,A	2. 環境や人の健康、安全に影響が考えられる化学物質の使用は回避されているか（⑤，⑧） (1) 法規制化学物質
			B	3. 環境や人の健康、安全に影響が考えられる化学物質の使用は回避されているか（③） (1) 法規制化学物質 (2) 毒性／危険性の自主判断基準※6 －急性毒性(経口毒性：LD_{50}、など)、突然変異性(Amesテスト)
			A,A,A	4. 環境や人の健康、安全に影響が考えられる化学物質の使用は回避されているか（①，②，⑥） (1) 法規制化学物質 (2) 毒性／危険性の自主判断基準※6 －急性毒性(経口毒性：LD_{50}、など)、突然変異性(Amesテスト) (3) 暴露評価方法
			A,A	5. オゾン層を破壊する物質の使用が回避されているか（④，⑧）
			A,B,A,A	6. オゾン層を破壊する物質の使用が回避されているか（①，③，⑤，⑥） (1) 法規制化学物質、自主規制化学物質
			A,B,A,A,A,B	7. 環境影響化学物質を含有する部品などは、機能面での代替品使用も含めて、最高の安全性が考慮されているか（①，③，④，⑤，⑥，⑧）
			B	8. 環境影響化学物質を含有する材料、部品などは、機能面での代替品使用も含めて、最高の安全性が考慮されているか（③）
			―	9. 環境影響化学物質を含有する部品などは、機能面での代替品使用も含めて、安全性が考慮されているか（⑦）
			A	10. 化学物質を意図的に使用する場合、（②） (1) 代替品／代替技術の調査を行ったか (2) 環境、人体への暴露評価を行ったか
			B	11. 焼却などの処理時にダイオキシンなどの有害な物質を発生する恐れのある化学物質の使用が回避されているか（③）
			B	12. 有害化学物質は使用回避、削減されているか（③）
			A	13. 環境影響化学物質は使用回避、削減されているか（④）

【I_3】：機械工業分野向け 代表的な環境適合設計･評価項目※1			【I_3】(環境適合設計･評価項目)に関するアンケート調査結果※2	
大項目	中項目	小項目	ランク付け※4 調査結果	環境適合設計･評価項目に関するアンケート調査結果
			A,A,A,A,B	14. 環境影響化学物質は使用回避、削減されているか （①，②，⑤，⑥，⑧） (1) 印刷インキ顔料の重金属など
	a4.2 **製造工程の エミッション**		A,A	（③，⑥） 製造工程のエミッションという言葉を製造工程の安全性と周囲環境への影響評価と解釈した（③）
		a4.2.1 **製造工程での作業者の 化学物質暴露リスク削減** a4.2.2 **水質／土壌汚染物質の 排出削減** a4.2.3 **オゾン層破壊物質の 排出削減** a4.2.4 **大気汚染物質の排出削減** a4.2.5 **地球温暖化物質(CO_2除く) の排出削減 (例えば、CH_4，N_2O，HFC、 PFC など)** a4.2.6 **製造工程の廃棄物量削減**	A,A	1. 製品仕様において、製造工程での環境影響化学物質などの使用削減が配慮されているか（④，⑧）
			B,A,B,A,A	2. 製品仕様において、製造工程での環境影響化学物質などの使用削減が配慮されているか（①，②，③，⑤，⑥） (1) オゾン層破壊物質 (2) 環境関連法規制化学物質 (3) 労働安全衛生法規制物質
			A	3. 製品仕様において、製造工程での環境影響化学物質などの使用禁止、使用削減が配慮されているか（⑦）
			B,B,A,A,A,B	4. 製造工程からの排ガス、温室効果ガス、廃水、廃棄物に含まれる環境影響化学物質を増加させる設計仕様は回避されているか（①，③，④，⑤，⑥，⑧）
			A	5. 製造工程のエミッション(排ガス、温室効果ガス、廃水、廃棄物など)に含まれる環境影響化学物質を増加させる設計仕様は回避されているか（②）
			A	6. 製造工程からの環境負荷の排出を抑える改善策が導入されているか（②）
			B,A	7. 製造工程から排出される環境負荷（温室効果ガスなど）の低減が配慮されているか（③，⑥）
			C	8. 製造工程のエミッションに関する環境効率の向上が配慮されているか（③）
			A	9. 製造工程で排出される環境負荷物質の監視・管理は十分か／改善策を講じたか（②）
		a4.2.7 **騒音の排出削減** a4.2.8 **振動の排出削減**	B,C,B,B	1. 製品製作中の騒音の発生による周辺への影響はないか （①，③，④，⑧）
			B	2. 据付時の騒音、振動など発生による周辺への環境影響は回避されているか（⑨）
			B,C,B,B	3. 製品製作中の振動の発生による周辺への環境影響は回避されているか（①，③，④，⑧）
	a4.3 **物流の エミッション**		**B**	（③）
		a4.3.1 **低環境負荷輸送手段の選択 （排ガス、振動、騒音など）**	B	1. 低公害車(ハイブリッド車、メタノール車、低排出ガス認定車、グリーン購入法特定調達品認定車、その他環境ラベル付与車)を物流に活用しているか（②）
			B	2. 製品を出荷する際、 ①自社トラック　②トラック仕立便　③トラック定期便 ④鉄道　⑤船舶 ①→⑤の促進を図る輸送計画を立てているか（②）
			B	3. 輸送手段の低環境負荷型へのシフトを推進しているか（③）
			A	4. 輸送方法選択に際して環境負荷の最小化に配慮したか（陸上輸送（鉄道・道路)、海上輸送などの選択）（⑥）
			A	5. 輸送手段選択に関して環境負荷の最小化に配慮したか（使用貨車・トレーラの選択、海上輸送と荷揚げ設備の環境負荷）（⑥）
			A	6. 装置の一体化、輸送・搬送時の分離化構造により、輸送・搬送時のエミッション（NOx、振動、騒音）を最小化しているか（⑨）
			A	7. 輸送、搬送前の分解時、または据え付け時（組立時）に、機内の油、ガスが外部に漏れない構造となっているか（⑩）
			B	8. 輸送車両の低公害化を推進しているか（③）
			B	9. 輸送用トラックはディーゼル車排ガス規制対応になっているか（⑧）
			A	10. 輸送、搬送時の振動、姿勢変化により機内の油、ガスが外部に漏れない構造となっているか あるいは、輸送、搬送時に事前に、機内の油、ガスを安全かつ容易に抜ける構造となっているか（⑩）
			A	11. 据付時の騒音、振動など発生による周辺への環境影響は回避されているか（⑨）
	a4.4 **使用時の エミッション**		A,A	（③，⑥）
		a4.4.1 **使用時の化学物質暴露 リスク削減**	A	1. 消耗部品の交換・補給、修理・交換の際、有害化学物質の使用が最小化されているか（②）
			A	2. 使用時、メンテナンス時における有害化学物質の使用は回避または最少化されているか(修理交換・消耗部品・資材など)（③）

【I_3】：機械工業分野向け 代表的な環境適合設計･評価項目※1			【I_3】(環境適合設計･評価項目)に関するアンケート調査結果※2	
大項目	中項目	小項目	ランク付け※4 調査結果	環境適合設計･評価項目に関するアンケート調査結果
			A	3. 環境影響化学物質の使用は最小化されているか（⑤）
			A	4. 使用時､メンテナンス時における有害化学物質の発生は回避または最少化されているか、また発生する場合は適正処理方法が確立されているか(修理交換・消耗部品・資材及び廃棄物など)（③）
			A	5. 使用時､メンテナンス時における有害化学物質の発生･溶出･拡散などは回避または最少化されているか、また発生･溶出･拡散などする場合は人体への暴露を回避する方法が確立されているか（②）
			B,A,A,A,A	6. 修理交換、消耗部品への環境影響化学物質の使用は最小化されているか（①，④，⑥，⑧，⑩）
			B,A,A,B,A,A	7. 修理交換、消耗部品の廃棄において、環境影響化学物質を含む部品類は容易に分離できるか（①，④，⑤，⑥，⑧，⑩）
		a4.4.2 **大気汚染物質の排出削減**	B	1. 有害化学物質の環境中への排出・移動が最小化されているか（②）
			A	2. 使用時メンテナンス時における有害化学物質(大気・水質/土壌汚染物質)の排出は削減されているか（③）
			A,A,B	3. 製品使用中の大気への環境悪化は回避されているか（①，④，⑧）
			A	4. 製品使用中の大気への環境悪化は回避されているかまたは、適切な対策が施されているか（⑩）
			A,A,A,A,A,A	5. 使用中に発生する環境影響化学物質（SOx、NOx、PM (粒子状物質) など）の削減と監視体制は整備されているか（①，④，⑤，⑥，⑧，⑨）
			B	6. 外部環境などの負荷により、製品自体から不快感を覚える悪臭が発生しないか（④）
		a4.4.3 **水質／土壌汚染物質の排出削減**	A,A,A,A	1. 油(潤滑油，切削油，作動油)漏れによる周辺への環境悪化は回避されているか（①，④，⑧，⑩）
			A	2. 製品使用中の水圏･土壌への環境影響物質の溶出が回避されているか溶出の可能性が特定されているか溶出対策が施されているか（②）
			B	3. 環境有害物質(油など)の漏れによる周辺への環境悪化は回避されているか（③）
		a4.4.4 **地球温暖化物質（CO2 除く）の排出削減 (例えば、CH_4，N_2O，HFC、PFC など)** a4.4.5 **オゾン層破壊物質の排出削減**	A	1. 使用に伴い排出される次の環境負荷が削減・最小化されているか 廃棄物、温室効果ガス、オゾン層破壊物質、酸性降下物原因物質、光化学オキシダント生成物質、富栄養化物質、その他の環境負荷物質 (ただし、a4.4.1 と a4.4.2 で有害化学物質を取り扱っているので、ここでは除くこの項の環境負荷は「地球環境問題」が主に議論の対象となる有害化学物質は主に「健康問題」が議論の対象となる両者の項を分けて設ける)（②）
			A	2. 使用時、メンテナンス時における温室効果ガスの排出が削減されているか（③）
		a4.4.6 **使用時の廃棄物量削減**	A	1. 使用時、メンテナンス時における廃棄物の排出が削減されているか（③）
		a4.4.7 **振動騒音の排出削減**	A	1. 使用時の振動、騒音、悪臭の排出が削減されているか(感覚公害として認知されるものとして、一般的な環境負荷の排出と区別し、「悪臭」を追記)（②）
			A,B,A,A,A,B	2. 使用時の振動、騒音の排出が削減されているか（①，③，④，⑤，⑥，⑧）
			A	3. 振動、騒音の発生を低減する処置が施されているか（⑩）
			A	4. 低周波振動を発生する部位はないか（④）
	a4.5 **処理時のエミッション**		A,A	（③，⑥）
		a4.5.1 **処理時に有害な物質及び環境負荷物質の排出削減**	A	1. 焼却時に溶融、腐食性ガスなどにより施設を損傷する恐れのあるものは容易に事前分離できるか（④）
			C,A,B	2. 焼却時に溶融、腐食性ガスなどにより施設を損傷する恐れのあるものは容易に事前分離できるか（①，⑤，⑥） (1) 腐食性ガスなどの発生のおそれのある部品（ハロゲン系樹脂成形品など） (2) 大型の低融点金属／ガラス製部品など
			A	3. 焼却すると、溶融もしくは腐食性ガスが発生し、施設を損傷させる恐れのあるものは容易に事前分離できるか（②） (1) 腐食性ガスなどの発生のおそれのある部品(ハロゲン系樹脂成形品など） (2) 大型の低融点金属／ガラス製部品など

【I_3】：機械工業分野向け 代表的な環境適合設計･評価項目※1			【I_3】(環境適合設計･評価項目)に関するアンケート調査結果※2	
大項目	中項目	小項目	ランク付け※4 調査結果	環境適合設計･評価項目に関するアンケート調査結果
			C,A,A,A,A	4. 焼却などの処理時にダイオキシンなどの有害な物質を発生する恐れのある化学物質の使用が回避されているか （①, ④, ⑤, ⑧, ⑩）
			A	5. 切削油などの油脂類に環境影響化学物質（塩素など）が使用されていないか（⑩）
			A	6. 処理に伴う有害化学物質の環境中への排出・移動が最小化されているか（②）
		a4.5.2 **処理時の廃棄物削減**	A	1. 処理に伴い排出される次の環境負荷が削減・最小化されているか 廃棄物、温室効果ガス、オゾン層破壊物質、酸性降下物原因物質、光化学オキシダント生成物質、富栄養化物質、その他の環境負荷物質 (この項の環境負荷は「地球環境問題」が主に議論の対象となる有害化学物質は主に「健康問題」が議論の対象となる両者の項を分けて設ける)（②）
			B	2. 処理時における廃棄物の排出が削減されているか(リユース、リサイクル率向上)（③）
			B	3. 処理時における廃棄物の排出が削減されているか（②）
a5．情報提供の評価			A,A	（③, ⑥）
	a5.1 **製品の環境負荷情報の提供**		A,A	（③, ⑥）
		a5.1.1 **販売・保守に携わる者への環境情報提供**	A,A,A,B,A,A	1. 販売・保守に携わる者への情報提供方法は適切か （①, ③, ⑤, ⑥, ⑧, ⑩）
			A,	2. 販売・保守に携わる者への情報提供方法・提供の質は適切か （②）
			A	3. 販売・保守に携わる者及び使用者への情報提供方法は適切に行われているか（④）
		a5.1.2 **通常使用時の環境負荷情報提供**	C	1. 環境に影響を与える物質を使用している場合に、それに関する注意事項を表示しているか（③）
			A	2. 使用者への情報提供方法・提供の質は適切か（②）
			A,A,A,A,B	3. 使用者への情報提供方法は適切か（①, ③, ⑤, ⑧, ⑥）
			A,B,B,A	4. a5.1.1～a5.1.2 の情報が設計・生産にフィードバックされているか（①, ⑤, ⑥, ⑧）
			A	5. 製造者責任・拡大生産者責任の主体が明確であるか（②）
			A,A	6. a5.1.1 の情報が設計・生産にフィードバックされているか （④, ⑩）
			A,A,B,B,A,B,A,A	7. リデュースに関する情報は適切に提供されているか （①, ②, ③, ④, ⑤, ⑥, ⑧, ⑩） (1) 性能向上や機能拡張性（アップグレード）
			A,A,B,A,B,A	8. リユースに関連する情報は適切に提供されているか （①, ②, ③, ⑤, ⑥, ⑧） (1) 従来製品との共通化した部品 (2) 部品の取り外し(解体分離)の手順や方法など
			A	9. リサイクルに関連する情報は適切に提供されているか（④） (1) リサイクル対象部品名 (2) リサイクル表示 (3) 部品の材質名 (4) 部品の取り外し(解体分離)の手順や方法など (5) リサイクル部品の回収の仕組み
			B	10. リサイクルに関連する情報は適切に提供されているか（③） (1) 使用済み製品の回収、廃棄、処分方法 (2) 部品の材質名 (3) 使用済み製品を引取り、リサイクルする仕組
			A,A,A,A,A	11. リサイクルに関連する情報は適切に提供されているか （①, ②, ⑤, ⑥, ⑧） (1) 廃棄方法(指定の箇所への持込み方法など) (2) 使用済み製品の回収、廃棄、処分方法 (3) 部品の材質名 (4) 使用済み製品を引取り、リサイクルする仕組
			A	12. リサイクルに関連する情報は適切に提供されているか（⑩） (1) リサイクル対象部品名 (2) 使用済み製品の回収、廃棄、処分方法 (3) 部品の材質名 (4) 使用済み製品を引取り、リサイクルする仕組

【I_3】：機械工業分野向け 代表的な環境適合設計･評価項目※1			【I_3】(環境適合設計･評価項目)に関するアンケート調査結果※2	
大項目	**中項目**	**小項目**	**ランク付け※4 調査結果**	**環境適合設計･評価項目に関するアンケート調査結果**
			A	13. リサイクルに関連する情報は適切に提供されているか（②） (1) リサイクル対象部品名 (2) リサイクル表示 (3) 部品の材質名 (4) 分解・解体手順 (5) 使用済み製品の回収、廃棄、処分方法
			A,A	14. 省エネルギーに関する情報は適切に提供されているか（④, ⑧）
			A,A,B,A,A,A	15. 省エネルギーに関する情報は適切に提供されているか（①, ②, ③, ⑤, ⑥, ⑩） (1) 省エネルギー性、製品使用時の環境負荷低減を配慮した方法
			A,A,C,A,A,A	16. グリーン調達に関する情報は適切に提供されているか（①, ②, ③, ⑤, ⑥, ⑧）
			A,B,A,A,A,A	17. 購入者が製品選定に使用するカタログなどへの性能表示がされているか（①, ③, ⑤, ⑥, ⑧, ⑩）
			A,C,A,A,A,A,A	18. 製品などの本体への表示（直接表示や環境ラベルなどの使用）は適切か（①, ③, ④, ⑤, ⑥, ⑧, ⑩）
			A,A,C,A,A,A,B,A	19. 製品取扱説明書などへ、文字や図解などで、わかりやすく記述されているか（①, ②, ③, ④, ⑤, ⑥, ⑧, ⑩）
		a5.1.3 **緊急時の環境負荷と防止対策に関する情報提供**	A,A,B,A,B,A,A,A	1. 緊急時の対応に関する情報を適切に提供しているか（①, ②, ③, ④, ⑤, ⑥, ⑧, ⑩）
			B	2. 緊急時の環境負荷や対応に関する情報を適切に提供しているか（③）
		a5.1.4 **含有化学物質に関する情報提供**	B	1. 有害物質の使用の情報を適切に提供しているか（③）
		a5.1.5 **ライフサイクル環境負荷に関する情報提供**	B	1. 使用時、メンテナンス時の環境負荷の情報を適切に提供しているか（③）
			B	2. 保守や修理の手順や方法に関する情報を適切に提供しているか（③）
	a5.2 **分解、最終処理に関する情報提供**		B,A	（③, ⑥）
		a5.2.1 **処理専門業者などへの情報提供**	A,B,A,A	1. 処理専門業者などへの情報提供方法は適切か（①, ③, ⑧, ⑥）
			A,A	2. 処理業者などへの情報提供は適切か（②, ④） (1) 取扱い上の注意事項 (2) 保守や修理及び解体の手順や方法 (3) 製品など廃棄時の注意事項 (4) 製品・部品の圧縮・破砕が極めて困難な物の物理的性状など、適正処理のための腐食性、有害性、爆発性、作業上の危険性、環境保全性、設備への影響 (5) 焼却などの熱処理による有害ガスなどの発生の可能性 (6) 緊急時の対処方法
		a5.2.2 **取扱、処理に関する情報提供** **(1) 安全な使用方法、取扱い上の注意事項** **(2) 保守や修理の手順や方法** **(3) 製品など廃棄時の注意事項** **(4) 製品・部品の圧縮・破砕が極めて困難な物の物理的性状など､適正処理のための腐食性､有害性､爆発性､作業上の危険性､環境保全性、設備への影響** **(5) 焼却などの熱処理による有害ガスなどの生成の可能性**	A	1. 安全性に関する製品仕様上の注意事項が提供されているか（②）
			A	2. 保守や修理の手順や方法が提供されているか②）
			B	3. 回収・リサイクル・廃棄(排出､移動)処理に関する要領がマニュアル化されているか（③）
			B,A,A,B	4. 製品使用履歴と余寿命の関係、使用頻度とメンテナンススケジュールの関係が情報公開されているか（①, ②, ⑤, ⑥）
			A	5. 修理及び保守作業に係る情報提供がなされているか（④）
			B	6. 製品使用履歴と余寿命の関係、使用頻度とメンテナンススケジュールの関係が情報提供されているか（④）
			A	7. 使用済み製品の回収方法が顧客に対して明確になっているか（②）
			C,C,A,B,A	8. 顧客に対して処理方法（製品回収システムの有無、方法など）が明確になっているか（①, ③, ④, ⑤, ⑥）
			B	9. 取扱、処理に関する情報は適切に提供されているか（③） (1) 安全な処理方法、取扱い上の注意事項 (2) 製品など廃棄時の注意事項 (3) 処理困難な物の物理的性状など、適正処理のための腐食性、有害性、爆発性、作業上の危険性、環境保全性、設備への影響 (4) 焼却などの熱処理による有害ガスなどの生成の可能性

【I_3】：機械工業分野向け 代表的な環境適合設計･評価項目※1			【I_3】(環境適合設計･評価項目)に関するアンケート調査結果※2	
大項目	中項目	小項目	ランク付け※4 調査結果	環境適合設計･評価項目に関するアンケート調査結果
			A,B,A, －,A,A	10. 取扱、処理に関する情報は適切に提供されているか （①，③，⑤，⑥，⑧，⑩） (1) 安全な使用方法、取扱い上の注意事項 (2) 保守や修理の手順や方法 (3) 製品など廃棄時の注意事項 (4) 製品・部品の圧縮・破砕が極めて困難な物の物理的性状など、適正処理のための腐食性、有害性、爆発性、作業上の危険性、環境保全性、設備への影響 (5) 焼却などの熱処理による有害ガスなどの生成の可能性
			A,B,B, －,B,A	11. 他のメディア(インターネットなど)で再資源化などに関する問い合わせの窓口を設けているか（①，④，⑤，⑥，⑧，⑩）
			A,A,－,A,A	12. 処理困難物に関する情報が開示されているか （①，⑤，⑥，⑧，⑩）
			A,A,B,A, －,A	13. 解体手順書が用意されているか（①，②，③，⑤，⑥，⑧） (1) 解体マニュアル、サービスマニュアル、取扱説明書など
			A	14. 製品の廃棄に関する注意事項が提供されているか（②） (1) 製品・部品の圧縮・破砕が極めて困難な物の物理的性状など、適正処理のための腐食性、有害性、爆発性、作業上の危険性、環境保全性、設備への影響 (2) 焼却などの熱処理による有害ガスなどの生成の可能性
			A	15. 廃棄方法、処理方法、再資源化など、製品の廃棄・リサイクル工程に関する問い合わせ先が明確になっているか（②）
			A,B,A, －,B,A	16. 廃棄方法（処理方法)、問合せ先（販売店など）などが容易に判るか（①，③，⑤，⑥，⑧，⑩）
			A	17. 廃棄方法（処理方法)、問合せ先（販売店など）などに対する窓口を設けているか（④）
	a5.3 **提供する情報の十分性、最新性**		B,B	（③，⑥）
			A	1. 製品仕様などの変更があった場合、ユーザーなどに対する情報提供の窓口はあるか（④）
			－	2. 環境関連情報開示を最新にしているか（⑦）
			B,A	3. 製品仕様の変更、該当する法規の変更があった場合に、ユーザーに最新の情報を提供できる仕組みを設けているか（②，⑩）
			B	4. 提供した情報に対する顧客などの要望をフィードバックするシステムが整備されているか（③）
			B	5. 提供する情報を定期的に見直しするシステムが整備されているか（③）
			B	6. 定期的に情報のメンテナンスを行っているか（メンテナンス周期の記載）（⑥）
			B	a5.4 提供情報の理解容易性・徹底方法（⑥）
a6．**環境適合設計の実施方法**			C,A	（③，⑥）
	a6.1 **環境適合設計指針の作成**		C,A	（③，⑥）
		a6.1.1 **評価の実施手順の明確化**	A	1. 各社は、本ガイドラインを参考にそれぞれの組織、体制、対象製品の特性などを踏まえて、適切に環境適合設計指針または環境適合設計ガイドラインを作成するものとする（②）
			A,C,A,A,A, A	2. 各社は、本ガイドラインを参考にそれぞれの組織、体制、対象製品の特性などを踏まえて、適切にマニュアルを作成するものとする（①，③，④，⑥，⑧，⑩）
		a6.1.2 **設計生産プロセスにおける評価タイミングの明確化**	A	1. DR(デザインレビュー)の中に、製品の開発・設計者が環境適合設計の評価を行うシステムが作られ、運用するものとする（⑧）
	a6.2 **サプライチェーンに沿った情報収集**		B	（⑥）
		a6.2.1 **部品・材料供給者からの情報収集**	A	1. 製造業者は、このガイドラインの趣旨に沿って製品を安全、低消費電力型にするとともに、機能拡張による製品の長寿命化や、使用済み製品の再資源化を促進することが望ましい、このため、製品を構成するユニット、部品などの設計製造を行う供給者との間で、相互に必要な協力を図ることが望ましい（②）
			A	2. 製造業者は、製品をこのガイドラインの趣旨に沿って本質的に安全、省エネルギー、省資源型にするとともに、機能拡張による製品の長寿命化や、使用済み製品の再資源化が容易な構造にするために、製品を構成するユニット、部品などの設計製造をする供給者との間で、相互に必要な協力を行う努力を払うこと（④）

【I_3】：機械工業分野向け 代表的な環境適合設計･評価項目※1			【I_3】(環境適合設計･評価項目)に関するアンケート調査結果※2	
大項目	中項目	小項目	ランク付け※4 調査結果	環境適合設計･評価項目に関するアンケート調査結果
			A,B,A,A	3. 製造業者は、製品をこのガイドラインの趣旨に沿って本質的に安全、低消費電力型にするとともに、機能拡張による製品の長寿命化や、使用済み製品の再資源化が容易な構造にするためには、製品を構成するユニット、部品などの設計製造をする供給者との間で、相互に必要な協力を行うことが望ましい（①，⑥，⑧，⑩）
			B	4. 原料輸送―部材輸送―製品輸送(ー回収―処理)など、ライフサイクルを通じた物流の最適化を考慮することが望ましい（②）
		a6.2.2 **使用者，処理業者からの情報収集**		
	a6.3 **管理・運用システム**		C,A	（③，⑥）
			A,C,A,A,A,A,－,A	1. 事前評価の内容を充実させるとともに、評価の客観性を確保するため製品の開発・設計者または開発・設計部門（以下は製品設計者と略す）による自主的評価と、その評価結果を取りまとめた記録などに基づく評価をする任にある者･部門(以下は客観的評価者と略す)による評価の二段階で実施されることが望ましい（①，③，④，⑥，⑦，⑧，⑨，⑩）
a7. **総合評価**			C,A	（③，⑥）
	a7.1 **個別項目ごとの評価の結果を踏まえ、総合評価を実施することが望ましい**		A,A,C,A,A,A,A	a7.1 個別項目ごとの評価の結果を踏まえ、総合評価を実施することが望ましい（①，②，③，④，⑥，⑧，⑩）
	a7.2 **総合評価では、個別項目ごとの評価の結果を集約することや、代替案との比較検討を行う、その際、製品の特性上、個別評価項目ごとに重要度が異なる場合には、評価に重み付けを行う**		A,A,C,A,A,A,A	a7.2 総合評価では、個別項目ごとの評価の結果を集約することや、代替案との比較検討を行う、その際、製品の特性上、個別評価項目ごとに重要度が異なる場合には、評価に重み付けを行う（①，②，③，④，⑥，⑧，⑩）
	a7.3 **各項目ごとの評価は、相互にトレードオフの関係にある場合もあり、このような点にも留意しつつ、総合評価を行う**		A,A,C,A,A,A,A	a7.3 各項目ごとの評価は、相互にトレードオフの関係にある場合もあり、このような点にも留意しつつ、総合評価を行う（①，②，③，④，⑥，⑧，⑩）
	a7.4 **総合評価の結果が、従来製品以下という結果になれば、個別の事前評価の見直しが必要と判定し、改善策の再検討を行うのが望ましい**		A,C,C,A,A,A,A,A,A	a7.4 総合評価の結果が、従来製品以下という結果になれば、個別の事前評価の見直しが必要と判定し、改善策の再検討を行うのが望ましい（①，②，③，④，⑥，⑦，⑧，⑨，⑩）
	a7.5 **また、総合評価においては、製品本来の機能が損なわれないことや、安全性が確保されることなど、製品として最低限満足すべき要件を踏まえることが必要である**		A,A,A,A,A	a7.5 総合評価においては、製品本来の機能が損なわれないことや、安全性が確保されることなど、製品として最低限満足すべき要件を踏まえることが必要である（①，④，⑥，⑧，⑩）
			A	a7.5 総合評価においては、製品本来の機能が損なわれないことや、安全性が確保されることなど、製品仕様を満足させることが必要である（②）
			B	a8. 機能性設計（③） (ISO 14062 に対応)
			B	a8.1 使い易さを考慮に入れた設計（③）
			B	a8.1.1 環境配慮と使い易さなどの機能性が両立した設計になっているか（③）
			B	a8.2 環境パフォーマンスを配慮に入れた性能改善（③）
			B	a8.2.1 環境負荷を増やさずに複数機能化・最大機能化を図っているか（③）
			B	a8.2.2 モジュール化により性能改善と製造時、メンテナンス時などの環境負荷低減との両立を図っているか（③）
			B	a8.2.3 自動化により性能改善と最少環境負荷運転との両立を図っているか（③）
			C	a8.3 外観形状（③）
			C	a8.3.1 デザイン性を考慮し、利用寿命の改善を図っているか（③）
			C	a8.3.2 設備一式が調和のとれた外観になっているか（③）
			C	a8.3.3 設備が周辺環境と調和しているか（③）
			B	a9. 全体評価（③） (ISO14062 に対応、製品ライフサイクル全般にわたる全体評価項目を検討した)
			B	a9.1 情報及びデータの管理（③）
			B	a9.1.1 内部(製造、サービス)及び外部(顧客)両方の情報の収集・交換・管理により意思決定が支援される仕組みが整備されているか（③）
			B	a9.2 指標による評価（③）

【I_3】：機械工業分野向け 代表的な環境適合設計･評価項目※1			【I_3】(環境適合設計･評価項目)に関するアンケート調査結果※2	
大項目	中項目	小項目	ランク付け※4 調査結果	環境適合設計･評価項目に関するアンケート調査結果
			B	a9.2.1 指標による測定法が確立され、製品の環境パフォーマンス効率指標による評価が行われているか（③）
			B	a9.3 サプライチェーンマネジメント（③）
			B	a9.3.1 環境配慮に関し、サプライヤーによる製品の設計・開発プロセスへの参加が行われているか（③）

※１：・ 本分科会が提案する“機械工業分野向け 代表的な環境適合設計の評価項目”を示し、**表 3.5** に示す内容と同一である。

・ 本資料の内容は、機械工業分野の代表的な評価項目を示すにすぎず、機械工業分野を包括する規格・指針的な評価項目でないので、本資料の内容を活用し、使用する場合に注意を要する。（詳細 **3.3 項**参照）

※２：本分科会が提案する“機械工業分野向け 代表的な環境適合設計・評価項目”関する本分科会 WG2 の委員からのアンケート調査結果に示す。各委員が所属する企業で関与する製品によって、アンケート調査結果が異なるので、各委員からの生データをそのまま列記して記載した。

※３：（ ）内の丸数値は、上記 ※2 に記載された内容が、**表 3.1** に示す製品に関与する WG2 の各委員より提案されたことを示す。ここでは、本表を利用しやすくするため、**表 3.1** の内容を次に示す。

委員 No.	委員が関与する製品名	委員 No.	委員が関与する製品名
①	環境装置	⑥	重電機器
②	風水力機械	⑦	産業用ロボット
③	原動機	⑧	金属工作機械
④	風水力機械	⑨	金属工作機械
⑤	分析機器	⑩	金属工作機械

※４：本分科会が提案する“機械工業分野向け 代表的な環境適合設計・評価項目”の必要性に関するランク付けを示し、（ ）内の丸数値で示す委員の順番に従って列記して示した。

なお、ランク付けの詳細は、**3.3 項**に示す通りであるが、ここでは、本表の利用しやすくするため、ランク付けの区分を次に示す。

A ランク：必要不可欠な評価項目　　shall 項目

B ランク：必要な評価項目　　should 項目

C ランク：存在した方が望ましい評価項目　　may 項目

※５：傾斜機能材料（a2.8.3 に示す）：電気的性質、光学的性質、機械的性質あるいは熱的性質などの異なる異種の材料を、界面が無いように組織をなめらかに変化させて、混合前の材料の特徴を併せ持つ様にした複合材料を示す。

※６：毒性／危険性の自主判断基準（a4.1.1 に示す）：ここで示す毒性／危険性の自主判断基準の項目は、本検討のベースとして用いた・電子情報技術産業協会（JEITA）の“情報処理機器の環境設計アセスメントガイドライン（第 2 版、平成 12 年 9 月発行）”に記載されている内容を示す。

表 3.7　環境適合設計の評価項目とアンケート調査結果の読み方の説明

【①】 **表 3.5 に示す内容と同一**

機械工業分野の代表的な評価項目を示すにすぎず、機械工業分野を包括する規格・指針的な評価項目でないので、本資料の内容を活用し、使用する場合に注意を要する。（詳細 **3.3 項**参照）

【②】 **平成 14 年度報告書 表 4.3 記載の JEITA の分類記号と同一**

（例）　数字１桁：大項目　　a1
　　２桁：中項目　　a1.1
　　３桁：小項目　　a1.1.1

記載上の表現の仕方

【③】 **評価項目：体言止で記載**

（文章での表示でない）

【⑥】 **アンケート調査結果：疑問文で記載**

（主に“～いるか？”などの疑問文で表示）

【⑧】 **本文記載の用語に関する主な参考文献**

JIS 工業用語大辞典、(財)日本規格協会
ISO14000 環境マネジメント便覧、
(財)日本規格協会
他　文献、各辞典、各学会の用語集

化学物質に関する主な情報検索

化学物質等安全シート(MSDS)(JIS 7250)
Web から、例えば ICSC（国際化学物質安全カード）
http://www.nihs.go.jp/ICSC/

表 3.6　環境適合設計の評価項目に関するアンケート調査結果

【機械工業分野向け 代表的な環境適合設計評価項目を対象】

【I₃】：機械工業分野向け 代表的な環境適合設計･評価項目※1			【I₃】（環境適合設計･評価項目）に関するアンケート調査結果※2	
大項目	中項目	小項目	ランク付け※4 調査結果	環境適合設計･評価項目に関するアンケート調査結果
a1. 省エネルギーの評価			A,A	（③，⑥）
			A	a1.0 省エネルギー設計（仕様）（⑥）※3
			A	1. 使用条件、サイト条件、輸送条件などを総合して、環境負荷最適化を志向した仕様となっているか（⑥）
	a1.1 製造工程の省エネルギー		A,B	（③，⑥）
			A	1. プロセスで使うエネルギーの監視・管理は［illegible］じたか（②）
		a1.1.1 電気エネルギー使用量削減	B,A,A,B,A	製造時に大電力や特殊な設備を必要としないか（①，④，⑤，⑥，⑩）（防音、防振、排気、電磁シールドなど）
			A,A	2. 製造時の電力／石油／ガスの使用量は削減されているか（④，⑦）
			B	3. 製造時のエア漏れ対策やエア圧最適化によるコンプレッサー電力使用量が削減されているか（⑧）
			A,A	4. 製造時各工程（素材製造、部品加工、組立）で、エネルギー消費量を削減するような方策を採っているか（②，⑨）
			B	5. 省エネルギー加工方法を採用しているか（電力、燃料、水など）（③）
			C	6. 試運転方法が省エネルギーとなるように設計的に検討されているか（③）
			A	7. 工程の短縮や結合が考慮されているか（④）
			A	8. 既存の工程での生産が可能か（④）
			A	9. 形状はシンプルで複雑な加工を必要としていないか（④）
			B	10. 加工物量の削減化を図っているか（③）
			B	11. 加工方法の最適化を図っているか（③）
			A	12. 部品の共有化・モジュール化が図られているか（④）
			B	13. 横持ち、段取り直しの少ない設計になっているか（①）
		a1.1.2 熱エネルギー使用量削減		
	a1.2 物流／据付時の省エネルギー		B,A	（③，⑥）物流の定義が不明確なため「梱包、輸送の環境影響」評価として記載した（③）
		a1.2.1 据付時の省エネルギー設計，特殊設備の排除	B,B,B,A,A	1. 据付時に大電力や特殊な設備を必要としないか（①，④，⑤，⑥，⑩）（防音、防振、排気、電磁シールドなど）
			B	2. 据付時のエネルギー消費量を削減する様な構造、仕様になっているか（⑨）
			A	3. 据付が省エネルギーな方法となるように設計的に検討されているか（②）
			B	4. 据付方法が省エネルギーな方法となるように設計的に検討されているか（③）
			–	5. 製品ライフサイクルを通じたロジスティクスの最適化や、モーダルシフトに関する評価項目が必要なのではないか（②）
		a1.2.2 輸送経路の最適化	A	1. 製品輸送時、輸送距離、積み数を考慮しているか（⑦）
			B	2. 部品配送、製品配送のエネルギー削減を検討しているか（②）
		a1.2.3 積載効率改善	A,A	1. 輸送時のサイズを考慮した設計としているか梱包に配慮したか特殊な容器を必要としないか（⑧，⑩）
			B,B	2. 大型特殊車両でなく普通車両にて運搬が出来、現地での組立てが容易か（④，⑧）
			C	3. 積載効率が最適な製品（部品）構造・寸法となるように設計的に検討されているか（③）
	a1.3 使用時の省エネルギー		A,A	（③，⑥）
		a1.3.1 省エネルギー型部品の開発、採用	A	1. 部分負荷運転を含む、通常動作時のエネルギー消費を抑える改善策が導入されているか（②）

【④】 **WG2 委員からのアンケート調査結果**
（ランク付けと評価項目に対する意見の提出）

各委員が所属する企業で関与する製品によって、アンケート調査結果が異なるので、各委員からの提案を生データのまま列記して記載。

ランク付けのみの提案

【⑦】 **評価項目の必要性に関するランク付け**

A ランク：必要不可欠な評価項目　　shall 項目
B ランク：必要な評価項目　　should 項目
C ランク：存在した方が望ましい評価項目　　may 項目

記載順番は、委員の記載と同一
　B，A，A，B，A　（ランク付け）
　↑　↑　↑　↑　↑
　①、④、⑤、⑥、⑩　（提案者）

【⑤】 **次に（表 3.1）に示す製品に関与する WG2 委員よりの提案**

委員 No.	委員が関与する製品名	委員 No.	委員が関与する製品名
①	環境装置	⑥	重電機器
②	風水力機械	⑦	産業用ロボット
③	原動機	⑧	金属工作機械
④	風水力機械	⑨	金属工作機械
⑤	分析機器	⑩	金属工作機械

製品名は、“通商産業省（現 経済産業省）監修の機械情報産業総覧”の製品分類名による

表 3.8　環境適合設計の評価項目に関するアンケート調査

【(社)日本ロボット工業会と傘下の企業対象の調査】

ランク付※2	機械工業向け 代表的な環境適合設計評価項目※1	アンケート調査（記入欄）				
		ランク付	採用※3	不採用※3	追加※4	追加評価項目(記載欄)
	a1.　**省エネルギーの評価**					
	a1.1　**製造工程の省エネルギー**					
A	a1.1.1　電気エネルギー使用量削減					
A	a1.1.2　熱エネルギー使用量削減					
	a1.2　**物流／据付時の省エネルギー**					
A	a1.2.1　据付時の省エネ設計，特殊設備の排除					
A	a1.2.2　輸送経路の最適化					
A	a1.2.3　積載効率改善					
	a1.3　**使用時の省エネルギー**					
A	a1.3.1　省エネルギー型部品の開発、採用					
A	a1.3.2　省エネ運転 ・節電機能の有無、機能の向上等 ・起動／停止時のエネルギーロスの低減 ・運転状態により、エネルギー消費効率を良くする機能(過負荷 解除機能など)の採用					
A	a1.3.3　エネルギー消費量を削減するようなシステム構成					
B	a1.3.4　エネルギー回収					
B	a1.3.5　動作環境条件の緩和(空調，クリーンルームなどの負荷低減)					

※１：**表 3.5** の内容と同一である。ただし、実施時期の関係で、実際実施したものは、**表 3.4** と同一。
※２：**表 3.6** のランク付け調査結果に基き決定した。
※３：(社)日本ロボット工業会及び傘下の企業での使用目的に応じた、評価項目の採用、不採用の記入欄
※４：(社)日本ロボット工業会及び傘下の企業での使用目的に応じた、評価項目の追加の有無の記入欄

4. 環境適合設計の評価・支援ツール

4.1 取組み概要

4.1.1 背景・経緯

取組みの背景と経緯を経緯順に次に示す。

(i) 「環境適合設計手法の標準化に関する調査研究」は平成 13 年度から始まったが、初年度の調査によって、環境適合設計の取組みが進まない理由の一つが、環境適合設計を支援するツールの不足であることが判明した。この調査結果を受け、当分科会では環境適合設計の評価・支援ツールの検討・開発を行うワーキンググループ（WG1）を平成 14 年度に設置した。

(ii) 環境適合設計を支援する設計ツールとしては、すでにライフサイクルアセスメント（LCA）などがよく利用されているが、LCA は設計終了後のレビュー段階で利用されることが多く、WG1 では以下の 3 点の理由から品質機能展開（Quality Function Deployment：QFD）を環境適合設計の支援ツールとして検討の対象にすることにした。

QFD を環境適合設計支援ツールとして利用する理由：

① QFD は品質用のツールとして設計の初期段階で利用されることが多く、設計初期段階における環境適合性を評価するツールとして有効である。

② 品質向上に QFD はすでに製造業でよく利用される設計ツールであり、今後、環境適合設計を始める設計者にとっては馴染みやすい。

③ ISO TR 14062 でも、企画・設計の初期段階で利用するツールとして紹介されており、環境適合設計の国際的な標準プロセスとして認知されやすい。

(iii) 平成 14 年度は、まず、QFD を電気電子工業分野の環境適合設計に適用した事例(環境調和型事業活動導入促進調査〔平成 10 年度～平成 13 年度、㈳産業環境管理協会〕)[1)~4)] を分析し、同様の手法が機械工業分野の製品にも適用可能であるかを検討した。その結果、製品の使用段階では電気エネルギーが主な消費材である電気電子製品に対して、機械工業分野における製品は使用段階で多種多様な消費材や排出物があり、QFD の出発点といえる「環境要求（環境負荷低減に向けた要求事項)」について再検討することになった（詳細は平成 14 年度分科会報告書[5)] 参照)。

(iv) 平成 14 年度後半では、環境要求(製品に対する環境側面らの要求)を従来の顧客要求（ユーザーが製品に求める品質）と同様に重要視し、QFD を環境側面について拡張した環境調和型品質機能展開（QFDE：Quality Function Deployment for Environment）を取り上げ、具体的な機械工業分野の製品である多段遠心ポンプに適用し、同製品の環境適合性をより高めるための指針などについて分析を行った[5)]。

4.1.2 本年度の取組み

⑴ 目 的

WG1 の初年度（平成 14 年度）は、機械工業分野における環境適合設計ツールとして QFDE を整備し、多段遠心ポンプへの適用を行った（フェーズ I、II まで）が、QFDE のツールとして LCA との比較などによる高度化及び妥当性・有効性の検証について完全には実施するにいたっていない。本年度はこれらのツールの展開を試みることから以下の 4 点を目的とし活動した。

⑷ 本ツールのユーザーである製造業各社で問題視されている環境影響（環境対策）と、QFDE の出発点である環境要求との関係を明らかにするなど、QFDE がより実践的で利用しやすいツールとなるよう検討する。

⑹ 本ツールを設計初期段階で利用した際の結果と LCA の結果を比較することで QFDE の妥当性を検証する。

⑹ 本ツールの多段遠心ポンプへの適用をフェーズ III、IV までに拡大し、QFDE の更なる有効性を検証する。

⑹ 本ツールの適用対象を建設機械（油圧ショベル）に拡大し、QFDE の有効性を検証する。

⑵ 調査内容

本年度の WG1 は、前述の 4 つの目的に応じて、以下の 4 つのサブワーキンググループ(SWG)を設置し、次に示す活動を行った。

⑷ SWG1：平成 14 年度に抽出した「機械工業分野の製品に対するライフサイクルを通じた環境要求」と、環境影響（労働・使用環境への影響、地域環境への影響、地球環境への影響）との関係を明らかにし、環境要求が満たされた場合の環境影響への改善効果や、またその逆に製造業各社が解決しようとしている大局的な環境問題に対して、製品設計上どのようなアプローチをしていくべきか、その視点を与えられるように従来の QFDE にとっては前処理段階に相当する部分を加えた。

⑹ SWG2：平成 14 年度、本年度 SWG3 において QFDE を適用した多段遠心ポンプを例題にして、同一製品の LCA の結果と比較することによって QFDE の特徴を明らかにした。その結果、QFDE は、設計者が製品に対して改善を施すために、より具体的な情報を提供するなどの特徴を有することが判った。

⑹ SWG3：平成 14 年度に QFDE のフェーズ I、II を適用した多段遠心ポンプを例題にして、フェーズ III、IV までを適用した。その結果、具体的な改善策の効果を調べるというフェーズ III、IV の有効性が確認された。

⑹ SWG4：QFDE のフェーズ I、II を建設機械（油圧ショベル）に適用した。得られた結果は設計者にとって違和感のないものであり、QFDE が建設機械へ適用可能性を有することが判った。

本年度の WG1 の活動の流れを昨年度の活動を含めて**図 4.1** に示す。

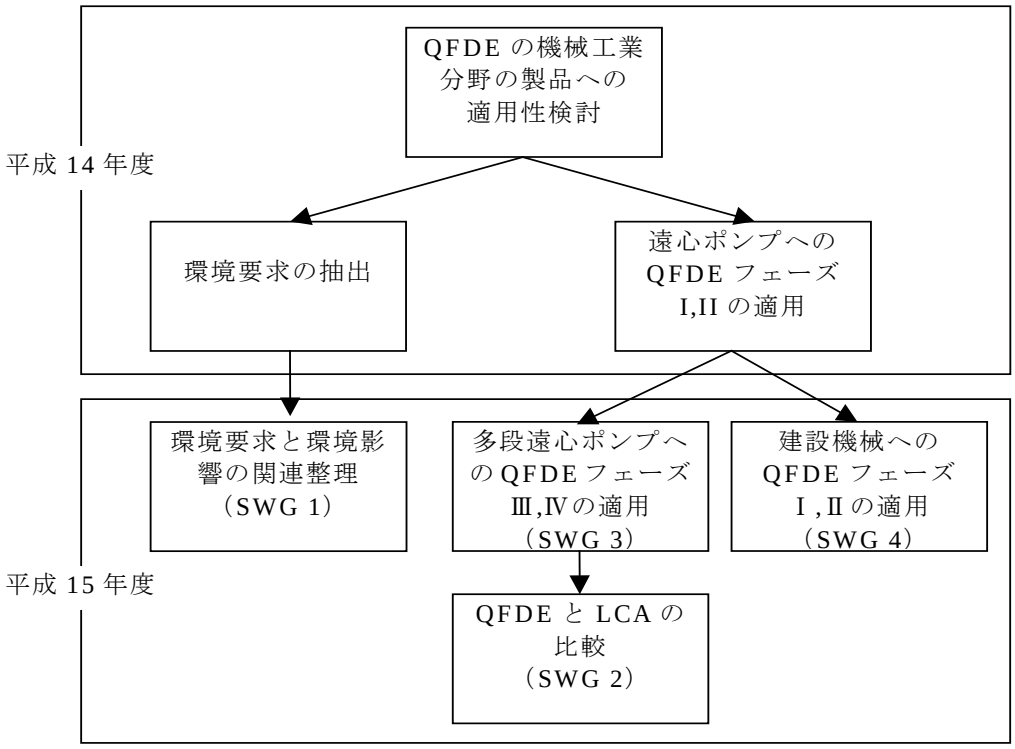


図 4.1　昨年度と本年度の検討の流れ

⑶ 本調査研究の進め方

本年度の WG1 は、4 つのサブワーキンググループ（SWG）毎に以下のように集中討議の機会を設けて議論し、不足の点は E メールを利用して議論を行った。ただし、SWG2、3、4 については調査内容が互いに関連するため、合同で議論する機会を設けた。また、WG1 の会合も次のように持ち、進捗や途中成果を確認しあいながら調査研究を進めた。

・WG1　（主査：坂尾　知彦）
- 第 1 回： 7 月 15 日（14：00～17：00）
- 第 2 回： 9 月 19 日（14：00～17：00）
- 第 3 回：11 月 19 日（14：00～17：00）

・SWG1 の会合：10 月　7 日
・SWG2 の会合： 8 月　6 日、12 月　5 日
・SWG3 の会合： 8 月　6 日、12 月　5 日
・SWG4 の会合： 8 月　6 日、　9 月 11 日、11 月　5 日

＜参考文献＞
1）平成 10 年度　環境調和型製品導入促進調査など　報告書、平成 11 年 3 月、社団法人産業環境管理協会
2）平成 11 年度　環境調和型製品導入促進調査など　報告書、平成 12 年 3 月、社団法人産業環境管理協会
3）平成 12 年度　環境調和型製品導入促進調査など　報告書、平成 13 年 3 月、社団法人産業環境管理協会
4）平成 13 年度　環境調和型製品導入促進調査など　報告書、平成 14 年 3 月、社団法人産業環境管理協会
5）環境適合設計手法の標準化に関する調査研究：(社)日本機械工業連合会、平成 15 年 3 月

4.2　環境要求と環境影響の関連の明確化

4.2.1　背景と目的

QFDE を環境適合設計のツールとして利用するためには、まずは製品に対する環境側面からの要求事項（環境要求）をまとめなければならい。環境要求の整理に際しては、社内の設計部門ばかりではなく、製品のライフサイクルを通じて環境に与える影響を考慮し、製造、設計、購買、メンテナンス、環境などの各部門からの出席者がそれぞれの立場で環境要求を列挙する必要がある。平成 14 年度に抽出した「機械工業分野の製品に対する環境要求」[1)] は、製品の全ライフサイクルを通じて製品が環境に与える影響を考慮に入れていることを特徴としていたが、その環境要求を見ると、騒音・振動などの工場で働く作業者にとっての環境を意識したものから、省エネルギー、リサイクルの容易性といった地球環境を意識したものまで含まれており、一口に環境要求といってもその影響の範囲に大小があることが指摘されていた。前述のように、環境影響の範囲が異なる場合、社内でも責任者が異なることが多いことから、環境要求を影響の大きさ（範囲）で区別する必要が生じた。

そこで SWG1 では、製品に対する環境要求の社内での責任の明確化を目的として、昨年度抽出した環境要求を環境影響の範囲に応じて区別することを検討した。影響の範囲としては「労働・使用環境」、「地域環境」、「地球環境」と区分し、それぞれの区分で考えられる具体的な環境影響を例示、さらに環境要求と環境影響項目の関連性を明確にした（**表 4.1**：「機械工業分野の環境対策指針」）。

4.2.2 「機械工業分野の環境対策指針」表の説明

本表は、製品のライフサイクルから求められる「環境要求項目」と「環境」の視点から見た一般的な「環境影響項目」の関連性を示す。同時に、各「環境影響項目」に対する「環境関連法令」を参照できるようにした。

⑴ 「環境要求項目」と「環境影響」の表の構成

⑷ 縦 軸

製品のライフサイクル、すなわち、製造、輸送、使用（稼動）、廃棄 に要求される「環境

要求事項」を縦軸にとっている。特に、機械工業分野の製品は製作時間に比して使用（稼動）時間が非常に長いので、「環境負荷」に対する影響も「稼動時」が圧倒的に大きい。また、「廃棄」に関しては、中古品として再利用できるものも多く、「一般の消費財」に比べると、「環境負荷」は軽いと考える。

従って、製品の設計段階では、「稼動時」に要求される「環境要求」項目を強く意識して取り組む必要がある。

今回の「機械工業分野の環境対策指針」の表の縦軸は、具体的には、平成 14 年度にまとめた機械工業分野の「環境要求項目」[1)] とした。主として、工作機械、産業用ロボット、建設機械などいわゆる生産財を対象としたものである。

⑹ 横 軸：

環境への影響事項は一般的な「環境影響」に対する項目とし、その分類は、製品を製造・使用する身近な「労働・使用環境」から、周辺の「地域環境」、さらに、地球全体に係る「地球規模」の領域にいたるまでを区分けした。

具体的な「環境影響項目」は「一般的な環境事項」とし、上記分類に当てはめ、列挙した。さらに、具体的な事項がわかるように、「例」を付記している。

⑹ 「環境要求事項」と「環境影響」の関連について

縦軸の「環境要求項目」と横軸の「環境影響」の関連を、下記に分類し表示した。

◎ ：強い関連がある
○ ：中程度の関連がある
△ ：弱い関連がある
無印 ：極少ない関連がある

なお、記号の付け方は、下記のように行った。

① SWG1 の各メンバーで、
◎：関連が強い、 ○：関連は中程度、
△：関連が弱い、 無印：関連が極少ない
として各項目に対して符号付けを実施

② それぞれを次により数値化し、
◎：9, ○：6, △：3, 無印：0
項目ごとに合計し平均化した。

③ 平均化した数値に対し改めて、
9, 8：◎、 5, 6, 7：○、
2, 3, 4：△、 0, 1, 2：無印
と定義し、書き換えた。

その結果数値 0 の項目は無かった。すなわち、すべての項目に対し関連が全くない項目はなかった。

⑵ 環境関連法令について

日本では環境に関する法令も多種多様である。ここでは、最新の「環境六法」[2)] に基づき、前述の「環境影響」項目に分類した法令表（**表 4.2**）を添付し、「環境影響」との関連を付けられるようにした。

なお、**表 4.2** での法令の分類は、関連が取り易いように、「環境六法」の分類とは異なり、上記「環境影響」項目に沿うようにした。ただし、「環境関連法令」は範囲が広大で、法令の数も相当な数に上るので、全部を網羅したものではない。

さらに、環境に関し一歩先んじている欧州の法令規格の取りまとめの要求もあったが、時間の制約上、平成 15 年度は国内法にとどめた。

4.2.3 「機械工業分野の環境対策指針」表の使い方

本年度当初は、「環境要求」と「環境影響」とを関連付けることにより、設計者を中心としたチームが設計の段階から大局的な環境問題への意識を持ちつつ、環境要求の整理、およびその後の QFDE による環境要求の具体的な工学的尺度への展開を行うこと、また環境要求に対する社内の関連（担当）部署を明確にすることを目的として**表 4.1** の作成を行った。しかしながら、WG1 での議論を通じて、本表の使い方（利用目的）が以下の 2 通りあることが判明したので、それぞれの使い方について説明する。

⑴ 環境要求を満足した場合の環境影響に対する効果の確認

QFDE を環境適合設計のツールとして用いる場合、従来の QFD における顧客要求と同様に環境要求を整理し、具体的な工学的尺度に展開していく。従来の QFD では直接顧客から製品に対する品質要求が収集でき、その要求を満たすことで顧客満足を高めることができたが、QFDE における環境要求の収集は、環境意識の高いグリーンコンシューマからの意見収集ばかりではなく、環境規制や将来的な環境要求事項を想定した仮想的な環境要求を取り込む必要がある。この場合、環境適合設計を実施するチームは、単に環境要求を設定するばかりではなく、その要求を満たすことにより、環境に対してどのような影響があるのかを事前に把握しておく必要がある。本表を用いることにより、ある環境要求が満たされた場合に、環境影響及びその範囲も含めて効果を容易に知ることができる。

また、環境影響といっても、作業者の労働安全と地域環境への影響や地球環境では専門的知識や社内での担当者が異なる場合がある。製品ライフサイクルの観点から整理した環境要求と、比較的担当部署が一対一で対応している環境影響の範囲（労働環境、地域環境、地球環境）を**表 4.1** により明確にすることで、それぞれの環境要求がどの部署の責任の範囲であるかを明確にすることが期待できる。

手順：① 設計改善により満足する環境要求を設定

② 環境要求の横軸を見て、関連性のある環境影響を確認

③　対象となった環境影響の縦軸を見て、同時に改善できる環境要求がないか確認

例１：製造時に配慮すべき「無公害である」に含まれる「廃液がクリーン」については、主に「地域環境」の「水質汚濁」に関連し、製造工程内の配慮事項であることから、品質管理部門と環境管理部門が権限と責任を担う

⑵　社内で環境対策（製品の環境側面からのコンセプト）が決められた場合の環境要求の抽出

一方、社内で今後解決しようとしている環境問題や、環境適合製品の開発コンセプトが明確になっている場合、⑴とは逆に環境影響側からこの**表 4.1** を利用することが考えられる。まず、大局的な環境対策に対し、表中の関連する環境影響を抽出、遵法性の観点から環境関連法令を確認した後、表を利用して具体的に製品に求められる環境要求を列挙するという一連の流れである。ここでまとめられた環境要求を用いて QFDE を実施することで、あまり環境分野の専門的知識を持たない技術者であっても、製品の重要な環境側面について把握することができる。

手順：①　社内方針として大局的な環境対策、または環境適合製品のコンセプトを設定
②　表の対応する環境影響を抽出し、関連する環境関連法令を確認
③　表を利用して具体的に製品に求められる環境要求を列挙
④　上記環境要求を用いて QFDE を実施

例２：「地球環境」に配慮し、特に「化石燃料など資源枯渇」に対する対策を考えていく場合、「製造時」には「エネルギー消費の少ない加工」方法を選択し、「使用時」の「エネルギー効率が高い」こと、さらに「メンテナンス性がよい」を構成する「メンテナンスに必要なエネルギーが小さい」ことを重要視する必要がある

4.2.4　機械工業分野における本表の具体的な使用について

⑴　製品に対する「環境適合設計」の実施

機械工業分野の製品は上記の通り、生産財が多く、生産方式も受注生産が多いのが特徴である。受注生産システムは消費財のような市場生産システムとは異なり、引き合いの初期段階から製品の仕様を客先とメーカーと双方で検討し、機能的にも経済的にも最適なものを作り上げる必要がある。受注生産システムの一例を**表 4.3** に示す。

仕様が決まれば、費用／製造工程／日程などほとんどが決定してしまうので、「環境適合設計」は仕様を決定する初期の設計段階（見積設計段階）で、先ずは実施する必要がある。

現状の「環境適合設計」の具体的作業は「各種の環境法令の適合検討」に多くの時間が費やされているため、設計者が容易に「環境諸法令」をレビューできることが必要である。その意味で、今回作成した「機械工業分野の環境対策指針」の表は、機器の初期設計の段階から環境規制に対する遵法性を確認できる内容となっている。さらに環境規制に対してどのように設計改善を行っていくべきか、環境影響と環境要求の関連を表で確認することで、製品のライフサイクルを通じ

た設計上の改善アプローチが把握でき、有効と考える。

⑵ 製造工程及び工場設備に対する「環境適合設計」

一般に製品の製作費用は基本設計の段階で 80％は決定すると言われている。もちろん、「製造工程における環境負荷」の費用も製品の初期設計の段階で把握しておく必要があり、そのためには製造の各工程における「環境負荷」を解析し明確にしておく必要がある。その意味でも本表は一助となり得ると考える。

⑶ 「環境対策」の具体的活動

上記は「個々の製品」についての「環境負荷」についての話であるが、ISO 14001 の適用における「ゼロエミッション」の運動は全社的／全社会的なものであり、「環境適合設計」の一大目標はここにある。

設計段階で、材料の選定、歩留まりの計画、加工工程、試運転・検査工程、運搬工程、据付などにおいて、いかに「ゼロエミッション」にするかは、製品の設計如何によるところが大きい。

このことを個々の設計担当者がわきまえておくことが必要で、具体的に何が環境負荷（ゼロエミッション）に多大な影響を与えるのか、設計者の教育が先ず第一であろう。

本表がそのときにも役に立てば幸いである。

＜参考文献＞

1）㈳日本機械工業連合会：環境適合設計手法の標準化に関する調査研究、平成 15 年 3 月

2）環境法令研究会編集：環境六法、中央法規出版株式会社、平成 15 年 2 月

表 4.1　機械工業分野の環境対策指針

◎:関連が強い、○:関連は中程度、△:関連が弱い、無印:関連が極少ない

ライフサイクルを通じた環境要求			環境影響														
			「労働・使用環境」		「地域環境」					「地球環境」							
			機械の製造ならびに使用(稼動時)に関わる身近な環境		機械の製造ならびに使用(稼動時)に関わる地域的な環境					機械の製造ならびに使用(稼動時)に関わる地球規模の環境							
			人の健康	アメニティー(騒音,悪臭,景観)	地下水 地盤沈下	土壌汚染	大気汚染	水質汚濁	廃棄物 処理能力	生態系	酸性雨	地球温暖化	オゾン層破壊	化石燃料等資源枯渇	その他地球環境
		例	有害・有毒物質、ガス　放射線　粉じん　発癌物質　有機溶剤	振動・騒音　悪臭　高温・多湿　油漏れ・油煙　危険作業	地下水面低下　地下水汚染　地盤沈下	有毒・有害物質　廃油	車排気ガス・粒子状物質　工場排気 NOX・SOX　道路粉じん	工場汚染廃水（含む油類）　汚水排水	産廃処理　ゴミ廃棄　産廃投棄　リサイクル	環境ホルモン　水産資源枯渇　森林破壊	工場排気 NOX・SOX　車排気ガス　越境移動	CO_2　乾燥・砂漠化	代替冷媒　フロン処理	代替エネルギー　エネルギー消費	廃棄物処理　海洋汚染
		環境関連法令	9-1～9-7 13-1	4-1～4-8 5-1, 5-2 7-1, 9-4 12-1, 14-1	2-7 6-1～6-3 14-1	3-1～3-3 14-1～14-7	1-1～1-4 9-2, 9-7	2-1～2-10 14-1	14-1～14-7 2-7, 2-9 2-10 15-1～15-7	2-9, 2-10 9-6, 9-7 14-1, 14-6	1-1, 1-2 1-4	9-2, 11-1～11-6	9-2, 10-1 10-2	11-1～11-6 15-1～15-7	2-9, 2-10 14-1～14-7
大項目の例	小項目の例														
製造時	加工性・組立性の向上	エネルギー消費の少ない加工	△				○		△		○	◎		◎	
	使用素材を低減する	原材料物質利用の低減							◎					○	△
		希少材料の使用削減							△						
		小型、軽量化							◎			△		○	△
		加工品の歩留まり向上							○					△	△
		消耗品・廃棄物の削減							◎					△	○
		再生素材の利用が多い							◎					○	△
	無公害である	工程内での有害物質の使用削減	◎			△		△		○					△
		有害物質を含まない材料	◎			○		○	△	○					○
		排ガスがクリーン	◎	○			◎				◎				
		廃液がクリーン	○		○	○		◎		△					○
		クリーンな作業環境	◎	◎											
	安全である	人に怪我をさせない	◎												
		騒音・振動が少ない加工法	○	◎											
		危険要因のない作業(高所作業等)	○	○											
		危険要因のない設備・装置を使用	○	○											
	ユーティリティーを多く使用しない	水使用量の削減			◎			△							
		電気(エネルギー)使用量の削減					○	△			○	○		◎	
		ガス使用量の削減					○				○	○		○	
輸送時	保管・運搬しやすい	物流に適した形状(を考慮)(回収容易)					△		△						
		手間が少ない運搬													
		保管しやすい形状を考慮													
		梱包材を削減(使用量が少ない)							◎	△					△
		軽量・小型化							○		△			△	
		再利用可能/再生利用可能包装材の使用							◎	△				△	△
	安全である	危険要因のない運搬	◎	◎											
		危険物を含まない	◎	○											
使用時	省エネである	エネルギー効率が高い					○				○	○		◎	
		消費電力の削減					○				○	○		◎	
		工場空調の削減(排熱が少ない)					△					○	○	○	
		すぐに立ち上がる(待機時間の短縮)										○		◎	
	省資源である	潤滑油が長持ちする				△		△	○						
		潤滑油量が少ない(無潤滑)		△		○		△	○					○	△
		切削油剤使用量の削減	△			○			○					△	△
		排水が少ない			△			◎							
		消耗品・廃棄物が少ない							◎					○	△
		消耗品廃棄物の処理が容易							◎					△	△
		必要最低限の機能である							△					△	
	安全・無公害に使える(人体に悪影響がない)	空気(作業空間)がクリーンである	◎	◎			△								
		油洩れしても大丈夫(生分解性油の採用)				○		○							
		据付性良(現地工事のやり易さ、安全)	△												
		有害物質使用量の削減	◎	△		○	○	○	○	○					△
		有害物質の管理が容易、確実	○							△					
		使用時に有害物質が発生しない	◎	△		△	○	○		△					△
		廃棄物に有害物質が混入しない	◎	△					◎	△					○
		排水がきれい	○	△	○	○		◎		△					○
		排気がきれい	◎	○			◎			△	◎				
		人に怪我をさせない	◎	○											
		騒音・振動が少ない	○	◎											
		異臭がでない	○	◎			○								
		危険要因のない設備、作業(高所作業等)	○	○											
	信頼性が高い	発熱しにくい		△											
		連続稼働時間が長い							○					△	
		故障が少ない							○						
		油洩れし難い		○		○		○							
		切削剤への機械潤滑油混入防止				△		△	△						
		高調波が出ない(出さない)	○	○											
	操作性がよい	高速処理/高速化に対応している(使用時間が短い)		△										○	
		簡単に操作できる	△	△											
		無人運転が可能		○											
		立ち上げ時に無駄な材料を使用しない							○					○	
		オペレティングが広い													
	メンテナンス性がよい	メンテナンスに必要なエネルギー(手間も含む)が小さい		△			△					△		◎	
		メンテナンスに必要な資材が少ない		△					○			△		○	△
		保守部品が用意されている(汎用部品使用)							△						
		保守点検が不要(メンテナンス間隔が長い)		△					○					△	
		給油、油交換、フィルター交換が少ない		△					○					△	△
		消耗品利用が少ない(磨耗が少ない)		△					○					○	△
	長寿命である	消耗品の劣化(消費)が少ない		△					◎					○	△
		高耐摩耗性		△					○					○	△
		塗装が長持ち		△					○			△		△	
		稼動寿命が長い							○					△	
		交換部品寿命が長い(短寿命部品を使わない)							○					○	
		長期間部品交換がきく(汎用部品が多い)							○					△	
		部品交換によるグレードアップが容易							○					△	
廃棄時	リサイクルしやすい	リサイクル実効率が高い							◎					○	
		リサイクルし易い材料を使う(有価で引き取ら							◎					○	
		分解性が高い							○					○	△
		素材別に分別しやすい							◎					△	△
		材料表示がされている							◎					△	△
		分別しやすい材料の組み合わせ							◎					△	△
		材料の統一(集約)化							◎					△	△
		有価物として引き取られる							◎					△	△
	部品を再使用したい	部品再利用率が高い							◎					○	△
		再使用の手間がかからない							◎					○	△
		リユース可能な制御機器・部品							◎					○	△
	廃棄物を処理しやすい	廃プラ処理のしやすいもの							◎					△	△
		生分解性プラスチックの採用							◎						△
		埋め立て量が少ない				△			◎						○
		焼却時に有害物質が発生しない	◎			△	○		△	△	△				
		有害物質の分離回収容易	○						◎	○					△

製品ライフサイクル

注）　本表の、◎・○・△・無印　の記号のつけ方：下記による

1)　SWG1の各メンバーで、「◎：関連が強い、○：関連は中程度、△：関連が弱い、無印：関連が極少ない」として各項目に対して符号付けを実施

2)　右記により数値化、◎：９、○：６、△：３、無印：０　として、項目ごとに合計し平均化した。

3)　平均化した数値に対し改めて、９，８：◎、５，６，７：○、２，３，４：△、０，１，２：無印　とした。その結果数値０の項目は無かった。（全ての項目に対し関連が全くない　ことはなかった。）

表 4.2 環 境 関 連 法 令[2)]

	分　　類	番号	法　令　名　称
1	大気汚染	1-1	大気汚染防止法
		1-2	道路運送車両法
		1-3	揮発油等の品質の確保等に関する法律
		1-4	自動車から排出される窒素酸化物の特定地域における総量の削減等に関する特別措置法
		1-5	スパイクタイヤ粉塵の発生の防止に関する法
2	水質汚濁	2-1	水質汚濁防止法
		2-2	湖沼水質保全特別措置法
		2-3	瀬戸内海環境保全特別措置法
		2-4	特定水道利水障害の防止のための水道水源水域の水質の保全に関する特別措置法
		2-5	下水道法
		2-6	下水道整備特別措置法
		2-7	浄化槽法
		2-8	水道原水水質保全事業の実施の促進に関する法律
		2-9	海洋汚染及び海上災害の防止に関する法律
		2-10	公有水面埋立法
3	土壌汚染・農薬	3-1	土壌汚染対策法
		3-2	農用地の土壌の汚染防止等に関する法律
		3-3	農薬取締法
4	騒音	4-1	騒音規制法
		4-2	特定工場等おいて発生する騒音の規制に関する基準
		4-3	特定建設作業に伴って発生する騒音の規制に関する基準
		4-4	幹線道路の沿道の整備に関する法律
		4-5	公共用飛行場周辺における航空機騒音による障害の防止等に関する法律
		4-6	特定空港周辺航空機騒音対策特別措置法
		4-7	空港整備法
		4-8	防衛施設周辺の生活環境の整備等に関する法律
5	振動	5-1	振動規制法
		5-2	特定工場等おいて発生する振動の規制に関する基準
6	地盤沈下	6-1	工業用水法
		6-2	工業用水道事業法
		6-3	建築物用地下水の採取の規制に関する法律
7	悪臭	7-1	悪臭防止法
8	越境移動	8-1	特定有害廃棄物等の輸出入等の規制に関する法律（バーゼル法)
9	化学物質	9-1	化学物質の審査及び製造等の規制に関する法律
		9-2	特定化学物質の環境への排出量把握等及び管理の改善の促進に関する法律（PRTR法）
		9-3	毒物及び劇物取締法
		9-4	労働安全衛生法
		9-5	食品衛生法
		9-6	有害物質を含有する家庭用品の規制に関する法律
		9-7	ダイオキシン類対策特別措置法
10	オゾン層	10-1	特定物質の規制等によるオゾン層の保護に関する法律
		10-2	特定性品に係るフロン類の回収及び破壊の実施の確保に関する法律
11	エネルギー	11-1	エネルギー政策基本法
		11-2	石油代替エネルギーの開発及び導入促進に関する法律
		11-3	エネルギーの使用の合理化に関する法律
		11-4	エネルギー等の使用の合理化及び再生資源の利用に関する事業活動の促進に関する臨時措置法
		11-5	新エネルギー利用等の促進に関する特別措置法
		11-6	電気事業者による新エネルギー等の利用に関する特別措置法
12	危険物	12-1	消防法
13	安全・衛生	13-1	高圧ガス保安法
		9-4	労働安全衛生法
14	廃棄物	14-1	廃棄物の処理及び清掃に関する法律
		14-2	地域保健対策強化のための関係法律の整備に関する法律
		14-3	ポリ塩化ビフェニル廃棄物の適正な処理の推進に関する特別措置法
		14-4	廃棄物処理施設整備緊急措置法
		14-5	産業廃棄物の処理に係る特定施設の整備の促進に関する法律
		14-6	広域臨海環境整備センター法
		14-7	下水道の整備等に伴う一般廃棄物処理業等の合理化に関する特別措置法
		2-7	浄化槽法
		2-9	海洋汚染及び海上災害の防止に関する法律
		2-10	公有水面埋立法
15	リサイクル	15-1	循環型社会形成推進基本法
		15-2	資源の有効な利用の促進に関する法律
		15-3	容器包装に係わる分別収集及び再商品化の促進等に関する法律
		15-4	特定家庭用機器再商品化法
		15-5	建設工事に係わる資材の再資源化等に関する法律
		15-6	食品循環資源の再生利用等の促進に関する法律
		15-7	使用済自動車の再資源化に関する法律

注　1）本表は環境関連法令を全て網羅したものではない。

2）「分類」の項目は「環境影響」の項目を念頭において参考として決めたものであり、「環境六法」の分類とは異なる。

表 4. 3　受注生産システムのフロー

（資料提供 中島 隆）

4.3　多段遠心ポンプへの適用事例

本項では環境側面を考慮した品質機能展開（以後、QFDE を環境品質機能展開と記載する）を機械工業分野の製品に適応した事例を示す。本分科会では機械工業分野の製品への QFDE 試行例として、汎用陸上型の多段遠心ポンプを題材に取り上げた。

本項の目的は以下である。

- ポンプへの QFDE 実施手順を示す[1)~3)]。
- ポンプへの QFDE 試行結果を示し、その効果の一端を考察する。

一方で本項を読み進む際には下記の点に留意されたい。

- 以下の項目はアンケートによらず、本分科会が独自に取り上げ、評価したものである。
  - ❍ 顧客要求、環境側面顧客要求、顧客重要度
  - ❍ 従来の工学的尺度
  - ❍ 環境側面に対する工学的尺度
  - ❍ 顧客要求と工学的尺度との関連性
- 多段遠心ポンプをどのようなコンポーネント及び部品特性に分けて考えるかという点についても、本紙の QFDE の実施手順を示す主旨から極めて単純化を図っている。

本項で QFDE の試行対象とした機械工業分野の製品は汎用陸上型の多段遠心ポンプであり、本報告書の **4.5 項**にその一例の紹介がある。

QFDE は 4 つのフェーズに分かれており、フェーズⅠとフェーズⅡを行うことによって、対象製品の環境側面からの重要なコンポーネント及び部品特性が特定できる。

QFDE には更にフェーズⅢとフェーズⅣがある。この 2 段階の実行によって、実際の設計(改善)案の中から環境側面で最良の案を決定することができる。

以上の流れを**図 4.2** に示す。

平成 14 年度報告書では QFDE フェーズⅠとフェーズⅡの実施方法について記述した。本年度報告書ではフェーズⅠ～フェーズⅣまで通して実施例を記す。

なお、フェーズⅠ～フェーズⅡについては平成 14 年度報告書掲載事項を見直し、重要度の数値を始め、全体的により正鵠を射た内容に改訂してある。

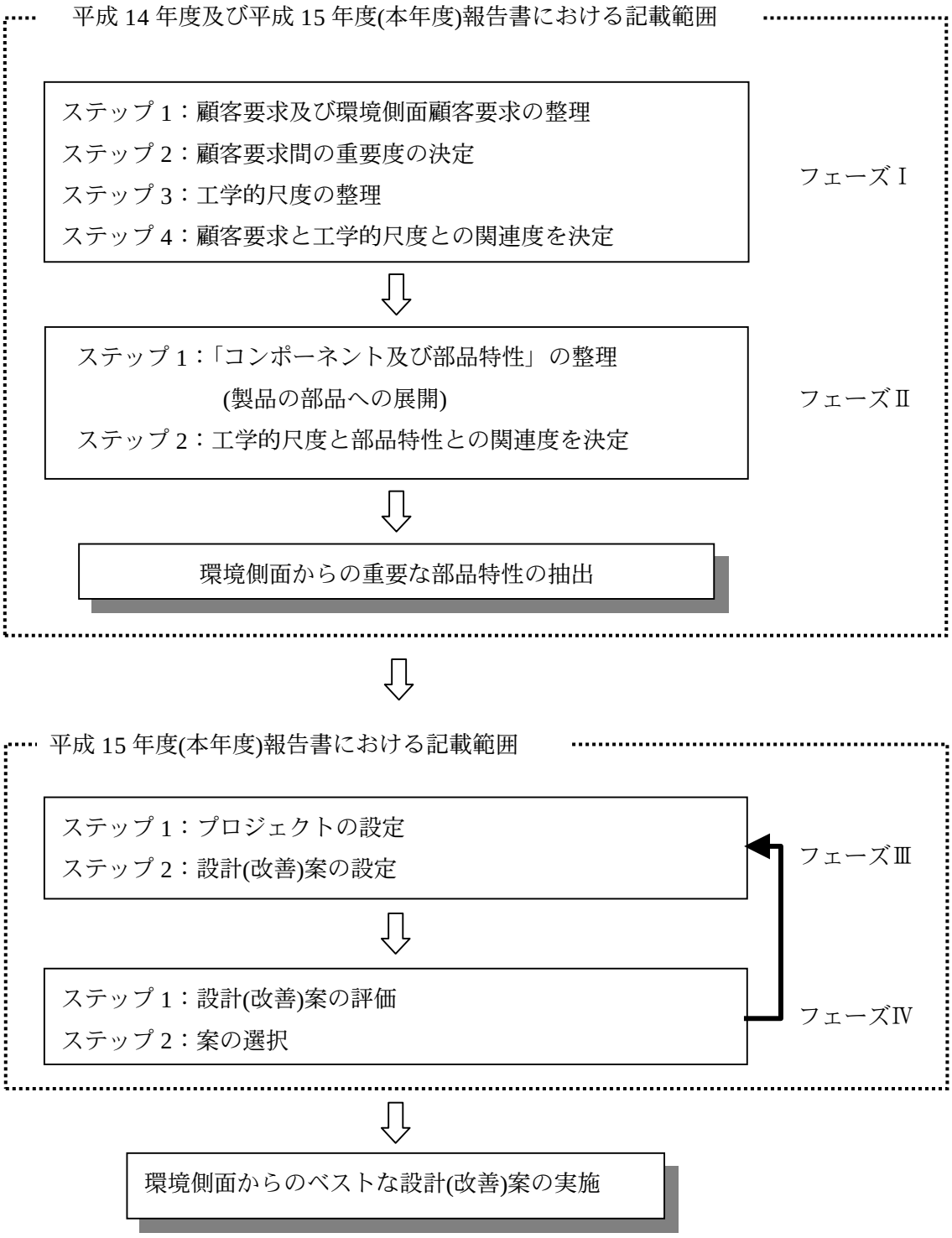


図 4. 2　QFDE を使用した環境適合設計製品企画の流れ

4.3.1　フェーズⅠ

4.3.1.1　ステップ１：顧客要求、環境側面顧客要求の整理

⑴　顧客要求の設定

通常の製品開発において「マーケット部門」が行っている作業である。具体的には対象製品の消費者またはユーザーからの要望・意見である。今回は多段遠心ポンプに要求される機能面を中心に、顧客要求を**表 4.4** のように想定した。

表 4.4　顧 客 要 求

顧客要求	ポンプの用途、稼働状況などに起因する顧客要求	一般給水に供する
		粘度の高い液体を輸送したい
		固形物を含む液体を輸送したい
		指定された流量で送液する
		キャビテーションを防止
		排水に供したい
		発電水位・受水槽への揚水
		冷温水の循環
		加圧動力源としての活用
		50・60Hz で共用したい
		赤水を防止したい
		配管荷重に耐える
		配管から外さずに分解・点検したい
		インラインで使用したい

⑵　環境側面顧客要求の収集

ここではポンプのライフサイクルを通じた地球環境・生態系影響・人間環境などへの影響を考慮して、それらの影響を小さくするためのステイクホルダーからの要求を想定した。その上で、機械工業分野における一般的な環境要求が纏められている**表 4.1** から同種の要求項目を統合して項目数を絞り込んだ。例を**表 4.5** に示す。

表 4.5　表 4.1 の環境要求からの要求項目統合例

大項目	小項目	統合先
省資源である	消耗品が少ない	使用素材を低減する－原材料物質利用の低減
長寿命である	消耗品の消費が少ない	

なお、**表 4.1** は一般に考えられる顧客要求を用意したもので、必要項目を網羅したものではない。今回採用した環境側面顧客要求の項目を**表 4.6** に示す。

表 4.6　環境側面顧客要求

環境側面顧客要求	使用素材を低減する	原材料物質利用の低減
		小型､軽量化
		加工品の歩留まり向上
	ユーティリティー節約	電気使用量の削減
	省資源である	潤滑油が長持ちする
		梱包材が削減できる(耐輸送振動など)
	安全・無公害に使える（人体に悪影響がない）	据付性が良い
		騒音・振動が少ない
	信頼性が高い	故障が少ない
	メンテナンス性がよい	メンテナンスに必要な資材が少ない
		汎用保守部品が用意されている
		給油・油・フィルター交換が少ない
		分解性がよい
	長寿命である	塗装が長持ち
		稼動寿命が長い
	廃棄の容易性	有害物質の含有量が少ない
		解体性がよい

本項では、平成 14 年度報告書の 5.1.2 項の図 5.3「品質機能展開(QFD)の概略図」の説明におけるフェーズⅠおよびフェーズⅡを統合したフォーマットを準備した。**図 4.3** の様式の完成を目指して解説を進める。**図 4.3** 中の〇囲み番号は平成 14 年度報告書の 5.1.2 項の図 5.3 の〇囲み番号と一致する。採用する顧客要求、環境側面顧客要求を**図 4.3** の ① 顧客要求の欄に入力する。以上までのQFDE フェーズⅠ実施結果を**表 4.7** に示す。

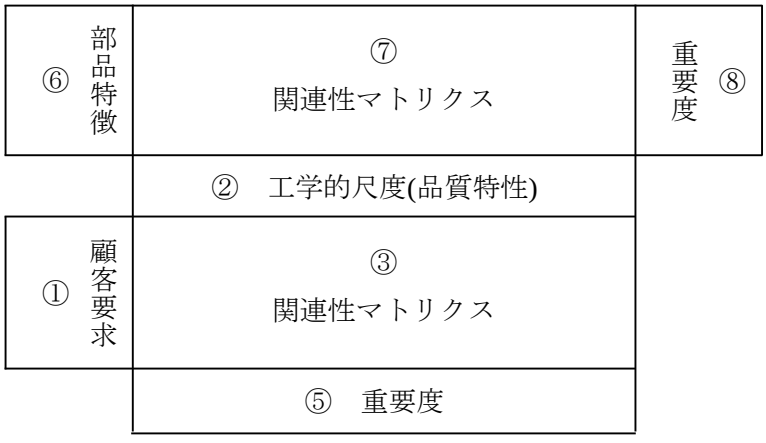


図 4.3　本項で実施する環境品質機能展開(QFDE)の概略図

表 4.7　顧客要求と環境側面顧客要求入力後の環境品質機能展開図

（多段遠心ポンプの例）

QFDE フェーズⅠ			顧客重要度	工学的尺度（品質特性）				
顧客要求	ポンプの用途、稼働状況などに起因する顧客要求	一般給水に供する						
		粘度の高い液体を輸送したい						
		固形物を含む液体を輸送したい						
		指定された流量で送液する						
		キャビテーションを防止						
		排水に供したい						
		発電水位・受水槽への揚水						
		冷温水の循環						
		加圧動力源としての活用						
		50・60Hz で共用したい						
		赤水を防止したい						
		配管荷重に耐える						
		配管から外さずに分解・点検したい						
		インラインで使用したい						
環境側面顧客要求	使用素材を低減する	原材料物質利用の低減						
		小型、軽量化が図られている						
		加工品の歩留まり向上						
	ユーティリティーの節約	電気使用量の削減						
	省資源である	潤滑油が長持ちする						
		梱包材が削減できる(耐輸送振動など)						
	安全・無公害に使える(人体に悪影響がない)	据付性がよい						
		騒音・振動が少ない						
	信頼性が高い	故障が少ない						
	メンテナンス性がよい	メンテナンスに必要な資材が少ない						
		汎用保守部品が用意されている						
		給油・油・フィルター交換が少ない						
		分解性がよい						
	長寿命である	塗装が長持ち						
		稼動寿命が長い						
	廃棄の容易性	有害物質の含有量が少ない						
		解体性がよい						

4.3.1.2　ステップ 2 ：顧客重要度の決定

ステップ 1 で設定した顧客要求の各々に、重要と考えられる度合いを設定する。具体的には**表 4.8** に示すように「非常に重要」、「重要」、「やや重要」、「若干の関連有り」、「無関係」の 5 種類に分類し、9, 6, 3, 1, 0 の 5 段階の重み付けを**表 4.7** 中に入力を図った。(0 は記載しない)

表 4.8　重要度設定の目安

非常に重要	重要	やや重要	若干の関連有り	無関係
9	6	3	1	0 (無記入)

ここで 9, 6, 3, 1 の重み付けに対しては明確な根拠があるわけではない。当分科会のワーキンググループメンバー及び汎用ポンプ設計者の検討結果を反映したものとなっている。

本事例では汎用陸上型の多段遠心ポンプを評価対象としているので、化学的に安定で清水(または清水に近い成分)を所定量、所定位置まで揚水することを顧客要求の中心とした重み付けを行った。一方、環境側面顧客要求としては、ライフサイクルを通じた資源生産性を重視し、「原材料物質利用の低減」「電気使用量の削減」「故障が少ない」「稼働寿命が長い」に対して重要度を高めた。

4.3.1.3　ステップ 3 ：工学的尺度の整理

多段遠心ポンプの仕様のうち、計測可能で製品単体及び製品ライフサイクルの特徴を表すパラメーターを「工学的尺度」〔**図 4.3**「② 工学的尺度(品質特性)」欄に相当〕の欄に入力した。従来の工学的尺度と環境側面に関する工学的尺度の 2 つのグループに分けて入力した。以上までの作業完成結果を**表 4.9** に示す。

4.3.1.4　ステップ 4 ：顧客要求と工学的尺度との関連性を決定

ステップ 1 で採用した顧客要求と、ステップ 3 で指定した工学的尺度との間にある関連性を定めるのがステップ 4 である。ここでも関連性の大きさを 5 種類にランク付けし、「非常に重要」を 9,「重要」を 6,「やや重要」を 3,「若干の関連性が認められるもの」を 1,「無関係」を 0 とした。関連度のデフォルトリストを**表 4.10** に示す。

表 4.10 中の「関連性」の数値のレベルは顧客要求、工学的尺度、環境側面顧客要求、環境側面工学的尺度の間で極力一致させるように、当分科会にて検討・調整した。

表 4.9　顧客重要度、工学的尺度、環境側面顧客要求入力後の環境品質機能展開図

QFDE フェーズⅠ			顧客重要度	工学的尺度(品質特性)																環境側面工学的尺度(環境品質特性)										
				吐出し量	全揚程	回転数	効率	比較回転数(比速度)	吸込み圧力	吐出し圧力	NPSH	シール部からの漏れ量	揚液温度	揚液密度	揚液粘度	蒸気圧力	揚液の液質	質量	材質	体積(全体サイズ)	想定耐久時間	切粉量	CO_2排出量	揮発性有機化合物排出量	振動	騒音	リサイクル率	分解時間	最終処分量	有害有毒性(発癌性)	材料種別数
				m^3/min	m	rpm	%	(無地元)	MPa	MPa	m	cm^3/h	℃	kg/m^3	Pa・s	Pa	pH	kg	無次元	m^3	h	kg	kg	kg	db	db	%	h	kg	kg PAH-Equiv.	個(無次元)
顧客要求	ポンプの用途、稼働状況等に起因する顧客要求	一般給水に供する	9																											
		粘度の高い液体を輸送したい	1																											
		固形物を含む液体を輸送したい	1																											
		指定された流量で送液する	1																											
		キャビテーションを防止	3																											
		排水に供したい	1																											
		発電水位・受水槽への揚水	9																											
		冷温水の循環	9																											
		加圧動力源としての活用	1																											
		50・60Hz で共用したい	3																											
		赤水を防止したい	9																											
		配管荷重に耐える	6																											
		配管から外さずに分解・点検したい	6																											
		インラインで使用したい	6																											
環境側面顧客要求	使用素材を低減する	原材料物質利用の低減	9																											
		小型､軽量化	6																											
		加工品の歩留まり向上	6																											
	ユーティリティーの節約	電気使用量の削減	9																											
	省資源である	潤滑油が長持ちする	6																											
		梱包材が削減できる(耐輸送振動など)	6																											
	安全・無公害に使える(人体に悪影響がない)	据付性が良い	1																											
		騒音・振動が少ない	6																											
	信頼性が高い	故障が少ない	9																											
	メンテナンス性がよい	メンテナンスに必要な資材が少ない	6																											
		汎用保守部品が用意されている	6																											
		給油・油・フィルター交換が少ない	6																											
		分解性がよい	9																											
	長寿命である	塗装が長持ち	6																											
		稼動寿命が長い	9																											
	廃棄の容易性	有害物質の含有量が少ない	6																											
		解体性がよい	6																											

表 4.10　顧客要求、環境側面顧客要求、工学的尺度、環境側面工学的尺度の関連度のデフォルトリスト

QFDE フェーズⅠ			顧客重要度	工学的尺度(品質特性)																	環境側面工学的尺度(環境品質特性)										
				吐出し量	全揚程	回転数	効率	比較回転数(比速度)	吸込み圧力	吐出し圧力	NPSH	シール部からの漏れ量	揚液温度	揚液密度	揚液粘度	蒸気圧力	揚液の液質	質量	材質	体積(全体サイズ)	想定耐久時間	切粉量	CO_2排出量	揮発性有機化合物排出量	振動	騒音	リサイクル率	分解時間	最終処分量	有害有毒性(発癌性)	材料種別数
顧客要求	ポンプの用途、稼働状況等に起因する顧客要求	一般給水に供する	9	9	9	6	9	1	6	6	6	1	1	1	1	3	1	1	1			1	9	1	6	6	1				
		粘度の高い液体を輸送したい	1	9	9	6	9	1	6	6	6	3	9	9	9	9	3	1	1			1	9	1	6	6	1				
		固形物を含む液体を輸送したい	1	9	9	6	6	1	6	6	6	3	3	9	9	3	9	1	1			1	9	1	6	6	1				
		指定された流量で送液する	1	9	9	6	6	1	6	6	6	1	1	1	1	1	1	1	1			1	9	1	6	6	1				
		キャビテーションを防止	3					1	9		9					9	6				9										
		排水に供したい	1	9	9		6										6								6	6				1	
		発電水位・受水槽への揚水	9	9	9	6	9		6	6	6	1											6		6	6					
		冷温水の循環	9	9	3	6	9					6											6		6	6					
		加圧動力源としての活用	1				6			9					6		9														
		50・60Hz で共用したい	3				6																1								
		赤水を防止したい	9														3		9		1									1	
		配管荷重に耐える	6																9		6										
		配管から外さずに分解・点検したい	6															9		9											
		インラインで使用したい	6																						9	1					
環境側面顧客要求	使用素材を低減する	原材料物質利用の低減	9									6						9	9			9	6				9	6	9	1	6
		小型、軽量化	6															9	9				6					6	1		
		加工品の歩留まり向上	6																9			9	6	6			9		9		1
	ユーティリティー節約	電気使用量の削減	9				9																9	6	1	1			6	1	
	省資源である	潤滑油が長持ちする	6				6																					6	1	1	
		梱包材が削減できる(耐輸送振動など)	6															6	1	9			9				9		9		
	安全・無公害に使える(人体に悪影響がない)	据付性が良い	1															9	6						6	1					
		騒音・振動が少ない	6				1											1	6						9	9					
	信頼性が高い	故障が少ない	9									6							6								0		0		
	メンテナンス性がよい	メンテナンスに必要な資材が少ない	6									6							9			6	6	6			9	6	9		1
		汎用保守部品が用意されている	6									3							9				1	1			9	6	1		1
		給油・油・フィルター交換が少ない	6																9				6	9			6	6	9	1	1
		分解性がよい	9															6		6			1				6	9	1		1
	長寿命である	塗装が長持ち	6									1							9					9			1		0	6	
		稼動寿命が長い	9									1															6	1	9		
	廃棄の容易性	有害物質の含有量が少ない	6																1		6		1	6			9	1	6	9	1
		解体性がよい	6															1	6	6		1	1				6		1		

本例は、顧客要求の「一般給水に供する」に対しては、「吐出し量」、「全揚程」、「効率」が大きく関係し、「比速度」、「漏れ量」、「質量」、「材質」といった工学的尺度はほとんど無関係であることを示している。加えて、環境側面顧客要求については、CO_2 排出量」との関連性が大きいことを示している。

環境側面顧客要求に着目すると、例えば「原材料物質利用の低減」については、工学的尺度の「質量」、「材質」との関連性が大きく、環境側面工学的尺度の「切粉量」、「リサイクル率」、「廃棄物重量」と大きな関連性があることを示している。

4.3.2 フェーズⅠで得られる結果

⑴ 総得点

工学的尺度ごとの「顧客重要度」と「関連性の数値」の積の和が総得点である。いわば、「顧客重要度ベクトル」と「各工学的尺度ごとの関連性ベクトル」の内積が総得点である。例えば「吐出し量」の総得点は次のように計算する。

「一般給水に供する」の顧客重要度	9 × 関連性 9	(＝ 81)
＋「粘度の高い液体を移送したい」	1 × 関連性 9	(＝ 9)
＋「固形物を含む液体を輸送したい」	1 × 関連性 9	(＝ 9)
⋮	⋮	
＋「発電水位・受水槽への揚水」	9 × 関連性 9	(＝ 81)
＋「冷温水の循環」	9 × 関連性 9	(＝ 81)
	得点	279

⑵ 相対的重要度

「各工学的尺度及び各環境側面工学的尺度の総得点」を、「上記 4.3.2 の⑴ 項の工学的尺度及び環境側面工学的尺度ごとの総得点を全て合計した総得点全合計値」で割った値を相対的重要度と呼ぶ。例えば、「吐出し量の相対的重要度」は次のように計算する。

各工学的尺度の総得点の全合計値 ＝ 279 ＋ 225 ＋ 180 ＋ 417 ＋・・・

・・・＋ 501＋130 ＋ 93 ＝ 6584

「吐出し量」の相対的重要度 ＝ 279 ÷ 6584 ＝ 0.042

「材質」「CO_2 排出量」「リサイクル率」「最終処分量」に特に重要度があるという結果になっている。**図 4.3** に示した環境品質機能展開図の、フェーズⅠ終了段階における状態を**表 4.11** に示す。

表 4.11　フェーズⅠ終了段階の環境品質機能展開図

QFDE フェーズⅠ			顧客重要度	工学的尺度(品質特性)																	環境側面工学的尺度(環境品質特性)										
				吐出し量	全揚程	回転数	効率	比較回転数(比速度)	吸込み圧力	吐出し圧力	NPSH	シール部からの漏れ量	揚液温度	揚液密度	揚液粘度	蒸気圧力	揚液の液質	質量	材質	体積(全体サイズ)	想定耐久時間	切粉量	CO_2排出量	揮発性有機化合物排出量	振動	騒音	リサイクル率	分解時間	最終処分量	有害有毒性(発癌性)	材料種別数
				m^3/min	m	rpm	%	(無地元)	MPa	MPa	m	cm^3/h	℃	kg/m^3	Pa・s	Pa	pH	kg	無次元	m^3	h	kg	kg	kg	db	db	%	h	kg	kg PAH-Equiv.	個(無次元)
顧客要求	ポンプの用途、稼働状況等に起因する顧客要求	一般給水に供する	9	9	9	6	9	1	6	6	6	1	1	1	1	3	1	1	1			1	9	1	6	6	1				
		粘度の高い液体を輸送したい	1	9	9	6	9	1	6	6	6	3	9	9	9	9	3	1	1			1	9	1	6	6	1				
		固形物を含む液体を輸送したい	1	9	9	6	6	1	6	6	6	3	3	9	9	3	9	1	1			1	9	1	6	6	1				
		指定された流量で送液する	1	9	9	6	6	1	6	6	6	1	1	1	1	1	1	1	1			1	9	1	6	6	1				
		キャビテーションを防止	3					1	9		9					9	6				9										
		排水に供したい	1	9	9		6										6								6	6				1	
		発電水位・受水槽への揚水	9	9	9	6	9		6	6	6	1											6		6	6					
		冷温水の循環	9	9	3	6	9					6											6		6	6					
		加圧動力源としての活用	1				6			9					6		9														
		50・60Hz で共用したい	3				6																1								
		赤水を防止したい	9														3		9		1									1	
		配管荷重に耐える	6																9		6										
		配管から外さずに分解・点検したい	6															9		9											
		インラインで使用したい	6																						9	1					
環境側面顧客要求	使用素材を低減する	原材料物質利用の低減	9									6						9	9			9	6				9	6	9	1	6
		小型、軽量化	6															9	9				6					6	1		
		加工品の歩留まり向上	6																9			9	6	6			9		9		1
	ユーティリティー節約	電気使用量の削減	9				9																9	6	1	1			6	1	
	省資源である	潤滑油が長持ちする	6				6																					6	1	1	
		梱包材が削減できる(耐輸送振動など)	6															6	1	9			9						9		
	安全・無公害に使える(人体に悪影響がない)	据付性が良い	1															9	6						6	1					
		騒音・振動が少ない	6				1											1	6						9	9					
	信頼性が高い	故障が少ない	9									6							6								0		0		
	メンテナンス性がよい	メンテナンスに必要な資材が少ない	6									6							9			6	6	6			9	6	9		1
		汎用保守部品が用意されている	6									3							9				1	1			9	6	1		1
		給油・油・フィルター交換が少ない	6																9				6	9			6	6	9	1	1
		分解性がよい	9															6		6			1				6	9	1		1
	長寿命である	塗装が長持ち	6									1							9					9			1		0	6	
		稼動寿命が長い	9									1															6	1	9		
	廃棄の容易性	有害物質の含有量が少ない	6																1		6		1	6			9	1	6	9	1
		解体性がよい	6															1	6	6		1	1				6		1		
		総得点		279	225	180	417	15	153	135	153	256	22	28	34	67	82	312	696	198	108	189	579	288	309	256	549	330	501	130	93
		相対的重要度		0.042	0.034	0.027	0.063	0.002	0.023	0.021	0.023	0.039	0.003	0.004	0.005	0.010	0.012	0.047	0.106	0.030	0.016	0.029	0.088	0.044	0.047	0.039	0.083	0.050	0.076	0.020	0.014

4.3.3　フェーズⅡ

4.3.3.1　ステップ１：コンポーネント及び部品特性の整理

多段遠心ポンプをコンポーネント(部品)及び部品特性に分解して整理する。フェーズⅠの工学的尺度と部品特性との関連性を作成することを目的に、ポンプを部品に展開し、かつその部品を特徴づける工学的特性との兼ね合いを検討した。ポンプをどのようなコンポーネント及び部品特性に分けたかについて**表 4.12** に示す。

表 4.12　ポンプのコンポーネントおよび部品特性

コンポーネント			部品特性	
多段遠心ポンプ	ポンプ部	ケーシング	段数	(無次元)
			吸込口径	mm
			材料	(無次元)
		羽根車	羽根車直径	mm
			翼枚数	(無次元)
			材料	(無次元)
		軸	軸径	mm
			軸剛性	N／m^3
			材料	(無次元)
		軸受	振動振幅	(1／1000)mm
			材料	(無次元)
		軸封	材料	(無次元)
		ベース	設置面積	m^2
	電動機		極数	(無次元)
			絶縁階級	(無次元)
			出力	kW
			各相電圧	V

4.3.3.2　ステップ２：工学的尺度と部品特性との関連性を決定

フェーズⅠのステップ 3 で定めた工学的尺度と、フェーズⅡのステップ 1 で定めた部品特性との間の関連性を決定した。ここでもフェーズⅠのステップ 4 と同様に、関連性の大きさを 5 種類にランク付けし、「強い重要性が認められるもの」を 9,「普通に重要性が認められるもの」を 6,「やや重要性が認められるもの」を 3,「若干の関連性が認められるもの」を 1,「全く関連を認められないもの」を 0 とした(**表 4.8** を参照)。

9，6，3，1 の重み付けは当分科会のワーキンググループメンバー及び汎用ポンプ設計者で検討を重ねた。9，6，3，1 の数値間に明確で定量的な根拠が無いことはフェーズⅠと同様である。結果を**表 4.13** に示す。

表 4.13　部品特性と工学的尺度との関連度

QFDE フェーズⅡ				工学的尺度																														
				吐出し量	全揚程	回転数	効率	比較回転数(比速度)	吸込み圧力	吐出し圧力	NPSH	シール部からの漏れ量	揚液温度	揚液密度	揚液粘度	蒸気圧力	揚液の液質	質量	材質	体積(全体サイズ)	想定耐久時間	切粉量	CO_2排出量	揮発性有機化合物排出量	振動	騒音	リサイクル率	分解時間	最終処分量	有害有毒性(発癌性)	材料種別数
コンポーネント			部品特性																															
遠心ポンプ	ポンプ部	ケーシング	段数	(無次元)	1	9		1		3	3									9	3	9		6					3	9	3		3
			吸込口径	mm	9	3		1	6	9	3	9					9			6							1	1	0		
			材料	(無次元)										3	1	1		9	3	9	6	6	9					9	3	6		6
		羽根車	羽根車直径	mm	3	9	9	3	9	3	3	3			6	3	1	3	3	3	9		9					3	3	6		3
			翼枚数	(無次元)	3	3	3	3	3			3			1	1	3	3	3	3			9					3	3	3		
			材料	(無次元)	1	1	6	3		1	1	1		3				9	3	9		6	6					9	1	3	3	6
		軸	軸径	mm					1				1						6	6	6		3							1		
			軸剛性	N/m^3	1	1	1												3	9			3							0		3
			材料	(無次元)	1	1	1							6				9	6	9		6						6	1	3		6
		軸受	振動振幅	(1/1000)mm										3		3		3		3		6			9	9						
			材料	(無次元)										6				9	1	9		6							1	3	3	
		軸封	材料	(無次元)									9	6	6	6		9	1	9		9					9	1	6	9	3
		ベース	設置面積	m^2	1														6	3	9				1			3	0		1
	電動機		回転数	rpm			9	3	9										6					9	9	1	9					
			絶縁階級	(無次元)															6	6									1	0		
			出力	kW	1	1	1	1							3	3			6					9	9	1	1		1	0		
			各相電圧	V																				3	3							

4.3.4　フェーズⅡで得られる結果

⑴　総得点

総得点とは部品特性ごとの工学的尺度の相対的重要度と、各工学的尺度との関連性の積を合計したものである。いわば、「相対的重要度ベクトル」と「部品特性ごとの関連性ベクトル」の内積が総得点である。例えば「ケーシング － 段数」の総得点は次のように計算する。

フェーズⅠでの

「吐出し量」の相対的重要度	0.042 × 関連性 1（＝ 0.042)
＋「全揚程」の相対的重要度	0.034 × 関連性 9（＝ 0.306)
＋「回転数」の相対的重要度	0.027 × 関連性 0（＝ 0　　)
⋮	⋮
＋「材料種別数」の相対的重要度	0.014 × 関連性 3（＝ 0.042)
	総得点　　2.70

⑵　相対的重要度

相対的重要度の各部品特性ごとの小計を、これら小計の総合計値で割った値をフェーズⅡでの相対的重要度とする。例えば「ケーシング － 段数」の例では次のように計算する。

総合計値(各部品特性の総得点の合計値)
＝ 2.70 ＋ 1.45 ＋ 3.20 ＋・・・＋ 1.80 ＋ 0.40 ＝ 33.24
相対的重要度 ＝ 2.70 ÷ 33.24 ＝ 0.081

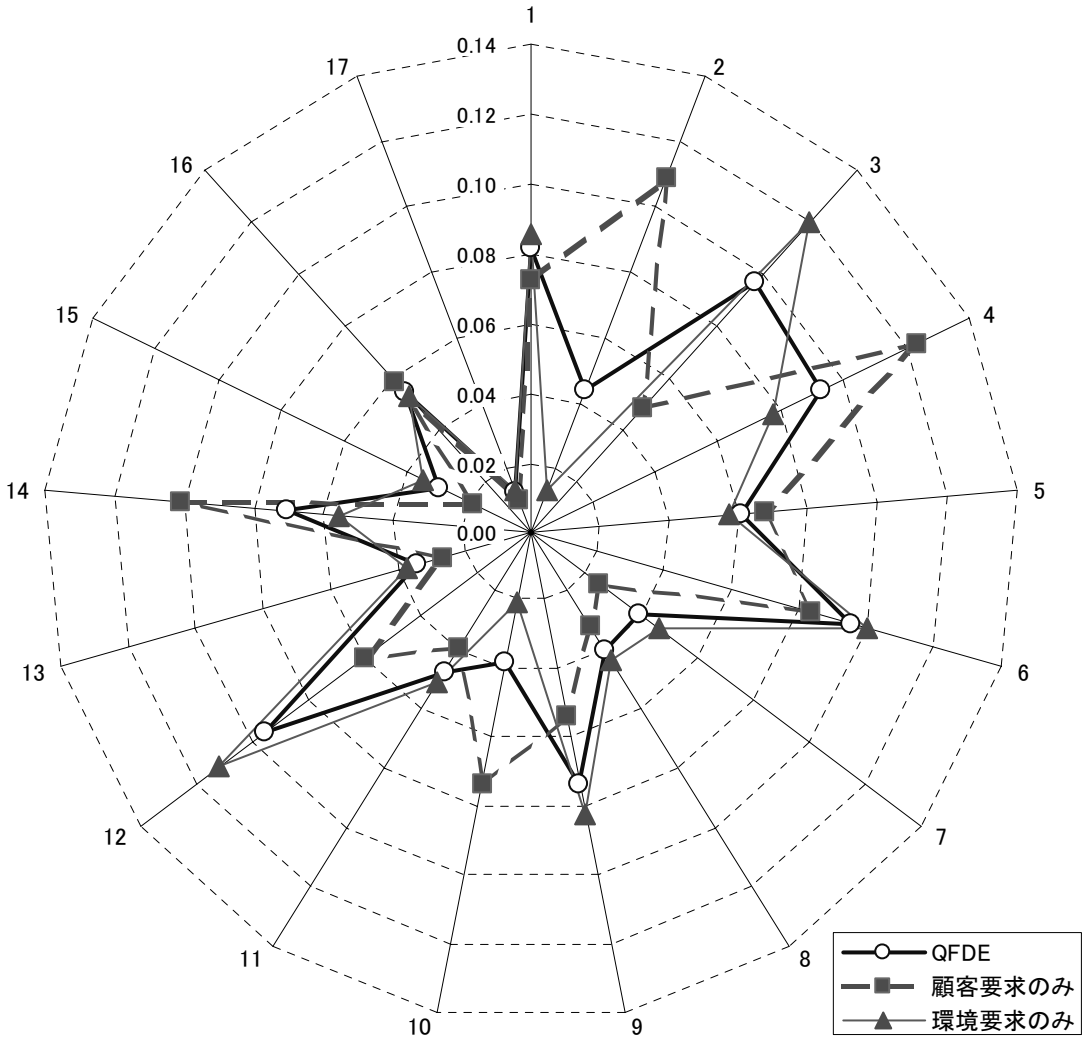
環境品質機能展開図における以上までの作業結果を**表 4.14** に示す。

図 4.4 は部品特性について、「顧客要求」だけを取り扱ったときの相対的重要度と、「環境側面顧客要求」だけを取り扱ったときの相対的重要度、及び「顧客要求と環境側面顧客要求」を両方取り扱ったときの相対的重要度の相違を示している。

表 4.14　フェーズⅡ終了段階の環境品質機能展開図

| コンポーネント | | | 部品特性 | | |

部品特性重要度の比較



軸番号と部品特性名との関係

軸番号	1	2	3	4	5	6
部品特性名	段数	吸込口径	ケーシング材料	羽根車直径	翼枚数	羽根車材料

軸番号	7	8	9	10	11	12
部品特性名	軸径	軸剛性	軸材料	振動振幅	軸受材料	軸封材料

軸番号	13	14	15	16	17
部品特性名	設置面積	回転数	絶縁階級	出力	各相電圧

図 4.4　環境側面の考慮の有無による部品特性の重要度の違い

（汎用陸上型の多段遠心ポンプの例）

4.3.5　フェーズⅢ

4.3.5.1　ステップ１：プロジェクトの投入コスト設定

企業にとってコスト評価は不可欠である。フェーズⅠおよびフェーズⅡまでで基本的な QFDE が一段落する。次の工程としてコスト展開に進むこととなるが、本報告ではコストの設定及び評価は行わない。本報告では改善設計の効果を調べるフェーズⅢ及びフェーズⅣについて実施方法を記載し、結果を評価する。

4.3.5.2　ステップ２：設計(改善)案の設定

フェーズⅢは、設計や生産の技術者が具体的な設計(改善)案を設定する段階である。設定した各案に対しては、フェーズⅠのステップ 3(工学的尺度の整理)及びフェーズⅡのステップ 1　(Part Characteristics／構成部品･コンポーネント及び部品特性の整理)の結果により考えられうる組合せのうち、要求品質(顧客要求と環境要求)に対してより高い改善効果が見込まれるものを選択する。

ポンプの例では、QFDE のフェーズⅡの結果として「ケーシング」と「軸封」が重要なコンポーネントであることが判明したことから、次の 2 つの案を設定したと仮定する。

⒜　案 1：「ケーシング」を中心に改善を行う

設計技術の中から、ケーシング部材を中心に部品統合を行って、ポンプ部の軽量･コンパクト化が図られるものと想定する。具体的には次の 6 つの組み合わせが改善されるものとする。

①　「ケーシング」の「質量」
②　「ケーシング」の「体積」
③　「ケーシング」の「リサイクル率」
④　「ケーシング」の「分解時間」
⑤　「ケーシング」の「最終処分量」
⑥　「ケーシング」の「材料種別数」

⒝　案 2：「軸封」を中心に改善を行う

素材及び生産技術の中から、軸封に改善が可能であると想定する。具体的にはグランドパッキンをメカニカルシール化することで、次の 3 つの組み合わせが改善されるものとする。

①　「軸封」の「シール部からの漏れ量」
②　「軸封」の「材質」
③　「軸封」の「想定耐久時間」

以上のように想定した各案について次の計算を行う。

⑴　フェーズⅢの表を作る。

(i)　「**表 4.13**　部品特性と工学的尺度との関連度」を再度表示する。

(ii)　各工学的尺度の関連性の合計を求める。例えば、「吐出し量」では、

(ケーシング段数) 1＋(ケーシング吸込口径) 9＋(羽根車直径) 3＋(羽根車翼枚数) 3＋(羽根車材料) 1＋(軸剛性) 1＋(軸材料) 1＋(ベース設置面積) 1＋(電動機出力) 1＝21

以上までの結果を**表 4. 15** に示す。

⑵ 工学的尺度の改善率の算出

P122 に示す **⑴ 項**にて改善がなされると想定した組み合わせの数値を残し、それ以外の部分の数値を削除する。「⑵ 工学的尺度の改善率の算出」の結果は**表 4. 16**（案 1 に対する例）および**表 4. 17**（案 2 に対する例）に示す。

(ⅰ) **表 4. 15** と同様に各工学的尺度の関連性の合計を求める。

(ii) 工学的尺度の改善率は**表 4. 16** の関連性の合計と**表 4. 15** の関連性の合計との比、および**表 4. 17** の関連性の合計と**表 4. 15** の関連性との合計との比である。

例えば、**表 4. 16** の工学的尺度「質量」は 3 ÷ 62 ＝ 0.0483 ⇒ 0.048

(ケーシング「材料」以外のすべての部品特性において、工学的尺度「質量」の項がゼロなので、工学的尺度「質量」の合計値が「3」となる。)

0.048 という数値は、**案 1** を採用したことによる質量に対する効果の評価と考えることができる。

表 4.15　フェーズⅢ ステップ 2（1）フェーズⅢの表作り終了段階の環境品質機能展開図

QFDE フェーズⅢ				工学的尺度																														
				吐出し量	全揚程	回転数	効率	比較回転数（比速度）	吸込み圧力	吐出し圧力	NPSH	シール部からの漏れ量	揚液温度	揚液密度	揚液粘度	蒸気圧力	揚液の液質	質量	材質	体積（全体サイズ）	想定耐久時間	切粉量	CO^2排出量	揮発性有機化合物排出量	振動	騒音	リサイクル率	分解時間	最終処分量	有害有毒性（発癌性）	材料種別数
コンポーネント			部品特性																															
ポンプ部		ケーシング	段数	（無次元）	1	9		1		3	3									9	3	9		6					3	9	3		3
			吸込口径	mm	9	3		1	6	9	3	9					9				6								1	1	0		
			材料	（無次元）										3	1	1		9	3	9	6	6	9						9	3	6		6
		羽根車	羽根車直径	mm	3	9	9	3	9	3	3	3			6	3	1	3	3	3	9		9					3	3	6		3
			翼枚数	（無次元）	3	3	3	3	3			3			1	1	3	3	3	3			9					3	3	3		
			材料	（無次元）	1	1	6	3		1	1	1		3				9	3	9		6	6					9	1	3	3	6
		軸	軸径	cm					1				1						6	6	6		3							1		
			軸剛性	N/m^3	1	1	1												3	9			3							0		3
			材料	（無次元）	1	1	1							6				9	6	9		6						6	1	3		6
		軸受	振動振幅	(1/1000)mm										3		3		3		3		6			9	9						
			材料	（無次元）										6				9	1	9		6							1	3	3	
		軸封	材料	（無次元）									9	6	6	6		9	1	9		9					9	1	6	9	3
		ベース	設置面積	m^2	1														6	3	9				1			3	0		1
	電動機		回転数	rpm			9	3	9										6					9	9	1	9					
			絶縁階級	（無次元）															6	6									1	0		
			出力	kW	1	1	1	1							3	3			6					9	9	1	1		1	0		
			各相電圧	V																				3	3							
工学的尺度関連性の合計					21	28	30	15	28	16	10	16	10	27	17	17	13	54	62	81	45	39	45	21	21	12	19	43	28	34	15	31

表 4.16　案 1 に対する工学的尺度改善率算出結果

QFDE フェーズⅢ（案1）				工学的尺度																														
				吐出し量	全揚程	回転数	効率	比較回転数（比速度）	吸込み圧力	吐出し圧力	NPSH	シール部からの漏れ量	揚液温度	揚液密度	揚液粘度	蒸気圧力	揚液の液質	質量	材質	体積（全体サイズ）	想定耐久時間	切粉量	CO_2排出量	揮発性有機化合物排出量	振動	騒音	リサイクル率	分解時間	最終処分量	有害有毒性（発癌性）	材料種別数
コンポーネント		部品特性																																
遠心ポンプ	ポンプ部	ケーシング	段数	（無次元）																														
			吸込口径	㎜															残した関連度																
			材料	（無次元）														3		6							9	3	6		6				
		羽根車	羽根車直径	㎜																														
			翼枚数	（無次元）																														
			材料	（無次元）																														
		軸	軸径	cm																														
			軸剛性	N/m^3																														
			材料	（無次元）																														
		軸受	振動振幅	(1/1000)㎜																														
			材料	（無次元）																														
		軸封	材料	（無次元）																														
		ベース	設置面積	m^2																														
	電動機		回転数	rpm																														
			絶縁階級	（無次元）																														
			出力	kW																														
			各相電圧	V																														
工学的尺度関連性の合計				0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3	0	6	0	0	0	0	0	0	9	3	6	0	6			
初期状態における工学的尺度の合計				21	28	30	15	28	16	10	16	10	27	17	17	13	54	62	81	45	39	45	21	21	12	19	43	28	34	15	31			
案 1 の工学的尺度の改善率				0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.048	0.000	0.133	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.209	0.107	0.176	0.000	0.194			

表 4.17　表 2 に対する工学的尺度の改善率の算出結果

QFDE フェーズⅢ（案2）				工学的尺度																															
				吐出し量	全揚程	回転数	効率	比較回転数(比速度)	吸込み圧力	吐出し圧力	NPSH	シール部からの漏れ量	揚液温度	揚液密度	揚液粘度	蒸気圧力	揚液の液質	質量	材質	体積(全体サイズ)	想定耐久時間	切粉量	CO_2排出量	揮発性有機化合物排出量	振動	騒音	リサイクル率	分解時間	最終処分量	有害有毒性(発癌性)	材料種別数
コンポーネント		部品特性																																	
遠心ポンプ	ポンプ部	ケーシング	段数	（無次元）																															
			吸込口径	㎜																															
			材料	（無次元）																															
		羽根車	羽根車直径	㎜																															
			翼枚数	（無次元）																															
			材料	（無次元）																															
		軸	軸径	cm																															
			軸剛性	N/m^3																															
			材料	（無次元）																															
		軸受	振動振幅	(1/1000)mm																															
			材料	（無次元）									残した関連度																						
		軸封	材料	（無次元）									9							9		9													
		ベース	設置面積	m^2																															
	電動機		回転数	rpm																															
			絶縁階級	（無次元）																															
			出力	kW																															
			各相電圧	V																															
工学的尺度関連性の合計				0	0	0	0	0	0	0	0	9	0	0	0	0	0	0	9	0	9	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
初期状態における工学的尺度の合計				21	28	30	15	28	16	10	16	10	27	17	17	13	54	62	81	45	39	45	21	21	12	19	43	28	34	15	31				
案 2 の工学的尺度の改善率				0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.900	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.111	0.000	0.231	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000

4.3.6　フェーズⅣ

4.3.6.1　フェーズⅣ　ステップ 1：設計(改善)案の評価

手法の実施要領を、**4.3.5 項**に示す**案** 1 への操作を例に記述する。

⑴　**フェーズⅣの表を作る。**

(ⅰ)　**表** 4.11 の要求品質と工学的尺度の表を再度表示する。

(ⅱ)　上記の表に**表** 4.16 及び**表** 4.17 の工学的尺度の改善率を記入する。

以上のまでの結果を、**表** 4.18 に示す。

(ⅲ)　**表** 4.18 の「工学的尺度の改善率」と「関連性」の積を記入する。これは表を横方向へ俯瞰した場合の、「工学的尺度の改善率ベクトル」と「各要求品質ごとの関連性ベクトル」との内積を計算することと言い換えることができる。

(ⅳ)　以上の「工学的尺度の改善率と関連性の積」と「要求品質の関連性の和」との比を各要求品質に対する改善率として計算し入力する。これが「要求品質に対する改善率」の個々の数値となる。

以上までの結果を**表** 4.19 及び**表** 4.20 に示す。計算過程について詳しく述べるため、**表** 4.19 を例にして次に記す。

例として、要求品質の一つである「廃棄の容易性 - 解体性がよい」の行について、**4.3.5 項**に示す案 1 の**表** 4.19 のケースを取りあげると、

質量との関連性 1 ×	工学的尺度の改善率 0.05	（＝ 0.05 ）
体積との関連性 6 ×	工学的尺度の改善率 0.13	（＝ 0.78 ）
リサイクル率との関連性 6 ×	工学的尺度の改善率 0.21	（＝ 1.26 ）
＋）最終処分量との関連性 1 ×	工学的尺度の改善率 0.18	（＝ 0.18 ）
合　　計		2.27

2.27÷「解体性がよい」の関連性値の合計 { (質量との関連性) 1＋(材質との関連性) 6＋(体積との関連性) 6＋(切粉量との関連性) 1＋(CO_2 排出量との関連性) 1＋(リサイクル率との関連性) 6＋(最終処分量との関連性) 1 } ＝ 0.10

(ⅴ)　改善率の合計を計算する

「要求品質に対する改善率」の個々の数値を合計する。例えば**表** 4.19 では

0.003 (一般給水に供する)
＋ 0.002 (粘度の高い液体を輸送したい)
＋ 0.002 (固形物を含む液体を輸送したい)
＋ ・・・
＋ 0.174 (稼働寿命が長い)
＋ 0.081 (有害物質の含有量が少ない)
＋ 0.104 (解体性がよい) ＝ 1.26

(vi) 要求品質に対する改善効果を計算する。例えば**表 4.19** 中最下段の「廃棄の容易性 - 解体性がよい」では、

顧客重要度 6×要求品質に対する改善率 0.104(正確には 0.1037)＝0.622

(vii) 改善効果の合計を計算する

0.027 (一般給水に供する)
＋ 0.002 (粘度の高い液体を輸送したい)
＋ 0.002 (固形物を含む液体を輸送したい)
＋ ・・・
＋ 1.562 (稼働寿命が長い)
＋ 0.487 (有害物質の含有量が少ない)
＋ 0.622 (解体性がよい) ＝ 8.67

のように求まる。

4.3.6.2 フェーズⅣ ステップ 2： 案の選択

設定した **4.3.5 項**に示す**案 1、2** のうち、各々に対して求めた改善効果を**表 4.21** に比較する。

表 4.21 改善案の比較

	改善案 1			改善案 2		
	従来法	環境側面	QFDE	従来法	環境側面	QFDE
改善効果	0.58	8.09	8.67	3.13	8.72	11.84

本例の場合、**案 1** の改善効果の合計値が 8.67、**案 2** が 11.84 であるため、**案 2** のほうが良い設計案(改良案)であると考えられる(**図 4.5** 参照)。

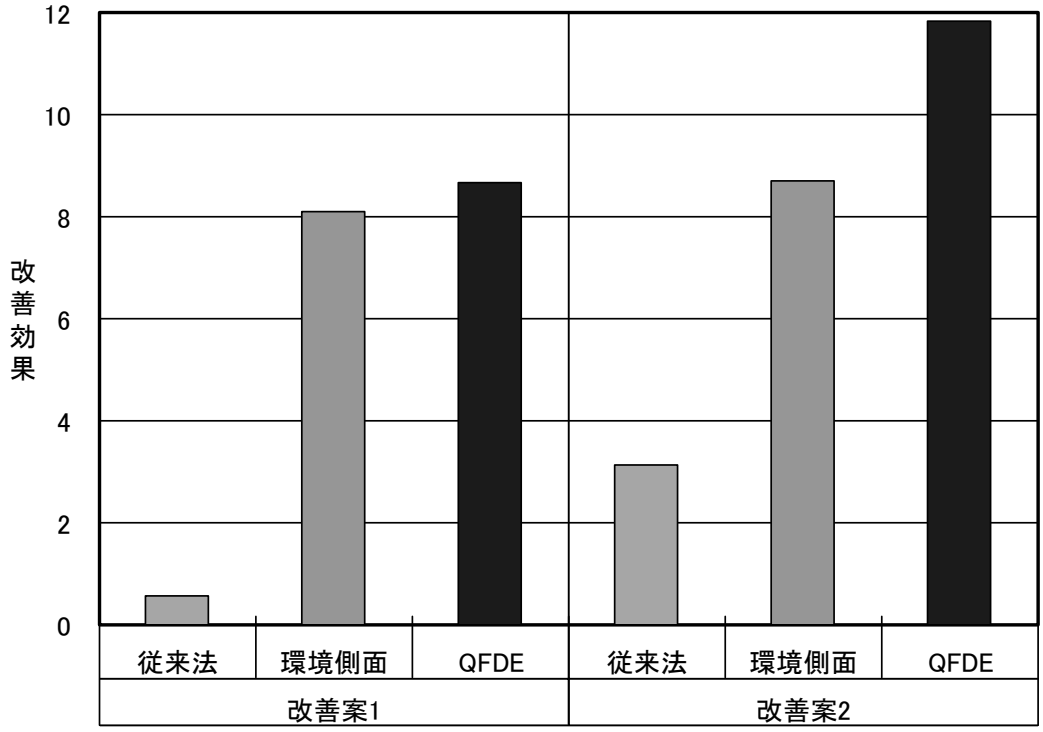


図 4.5　　案 1 と案 2 効果の比較

表 4.18　案 1 および案 2 の工学的尺度の改善率

QFDE フェーズⅣ			顧客重要度	工学的尺度（品質特性）																	環境側面工学的尺度（環境品質特性）										
				吐出し量	全揚程	回転数	効率	比較回転数（比速度）	吸込み圧力	吐出し圧力	NPSH	シール部からの漏れ量	揚液温度	揚液密度	揚液粘度	蒸気圧力	揚液の液質	質量	材質	体積（全体サイズ）	想定耐久時間	切粉量	CO^2 排出量	揮発性有機化合物排出量	振動	騒音	リサイクル率	分解時間	最終処分量	有害有毒性（発癌性）	材料種別数
				m^3/min	m	rpm	%	（無単元）	MPa	MPa	m	cm^3/h	℃	kg/m^3	Pa・s	Pa	pH	kg	無次元	m^3	h	kg	kg	kg	db	db	%	h	kg	kg PAH-Equiv.	個（無次元）
要求品質	顧客要求	ポンプの用途、稼働状況等に起因する顧客要求	一般給水に供する	9	9	9	6	9	1	6	6	6	1	1	1	1	3	1	1	1			1	9	1	6	6	1				
			粘度の高い液体を輸送したい	1	9	9	6	9	1	6	6	6	3	9	9	9	9	3	1	1			1	9	1	6	6	1				
			固形物を含む液体を輸送したい	1	9	9	6	6	1	6	6	6	3	3	9	9	3	9	1	1			1	9	1	6	6	1				
			指定された流量で送液する	1	9	9	6	6	1	6	6	6	1	1	1	1	1	1	1	1			1	9	1	6	6	1				
			キャビテーションを防止	3					1	9		9					9	6				9										
			排水に供したい	1	9	9		6										6								6	6				1	
			発電水位・受水槽への揚水	9	9	9	6	9		6	6	6	1											6		6	6					
			冷温水の循環	9	9	3	6	9					6											6		6	6					
			加圧動力源としての活用	1				6			9					6		9														
			50・60Hz で共用したい	3				6																1								
			赤水を防止したい	9														3		9		1									1	
			配管荷重に耐える	6																9		6										
			配管から外さずに分解・点検したい	6														9		9												
			インラインで使用したい	6																					9	1						
	環境要求	使用素材を低減する	原材料物質利用の低減	9								6						9	9			9	6			9	6	9	1	6		
			小型、軽量化	6														9	9				6				6	1				
			加工品の歩留まり向上	6															9			9	6	6			9		9		1	
		ユーティリティー節約	電気使用量の削減	9				9															9	6	1	1			6	1		
		省資源である	潤滑油が長持ちする	6				6																				6	1	1		
			梱包材が削減できる（耐輸送振動など）	6														6	1	9			9				9		9			
		安全・無公害に使える（人体に悪影響がない）	据付性が良い	1														9	6						6	1						
			騒音・振動が少ない	6				1										1	6						9	9						
		信頼性が高い	故障が少ない	9								6							6								0		0			
		メンテナンス性がよい	メンテナンスに必要な資材が少ない	6								6							9			6	6	6			9	6	9		1	
			汎用保守部品が用意されている	6								3							9				1	1			9	6	1		1	
			給油・油・フィルター交換が少ない	6															9				6	9			6	6	9	1	1	
			分解性がよい	9														6		6			1				6	9	1		1	
		長寿命である	塗装が長持ち	6								1							9					9			1		0	6		
			稼動寿命が長い	9								1															6	1	9			
		廃棄の容易性	有害物質の含有量が少ない	6															1		6		1	6			9	1	6	9	1	
			解体性がよい	6														1	6	6		1	1				6		1			
案 1 の工学的尺度の改善率				0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.05	0.00	0.13	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.21	0.11	0.18	0.00	0.19
案 2 の工学的尺度の改善率				0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.90	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.11	0.00	0.23	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00

表 4.19　案 1 の顧客要求に対する改善

QFDE フェーズⅣ			顧客重要度	工学的尺度(品質特性)																環境側面工学的尺度(環境品質特性)										顧客要求に対する改善率	顧客要求に対する改善効果
				吐出し量	全揚程	回転数	効率	比較回転数(比速度)	吸込み圧力	吐出し圧力	NPSH	シール部からの漏れ量	揚液温度	揚液密度	揚液粘度	蒸気圧力	揚液の液質	質量	材質	体積(全体サイズ)	想定耐久時間	切粉量	CO_2排出量	揮発性有機化合物排出量	振動	騒音	リサイクル率	分解時間	最終処分量	有害有毒性(発癌性)	材料種別数		
				m^3/min	m	rpm	%	(無次元)	MPa	MPa	m	cm^3/h	℃	kg/m^3	Pa・s	Pa	pH	kg	無次元	m^3	h	kg	kg	kg	db	db	%	h	kg	kg PAH-Equiv.	個(無次元)		
要求品質	顧客要求	ポンプの用途、稼働状況等に起因する顧客要求	一般給水に供する	9	9	9	6	9	1	6	6	6	1	1	1	1	3	1	1	1			1	9	1	6	6	1					0.003	0.027
			粘度の高い液体を輸送したい	1	9	9	6	9	1	6	6	6	3	9	9	9	9	3	1	1			1	9	1	6	6	1					0.002	0.002
			固形物を含む液体を輸送したい	1	9	9	6	6	1	6	6	6	3	3	9	9	3	9	1	1			1	9	1	6	6	1					0.002	0.002
			指定された流量で送液する	1	9	9	6	6	1	6	6	6	1	1	1	1	1	1	1	1			1	9	1	6	6	1					0.003	0.003
			キャビテーションを防止	3					1	9		9					9	6			9												0.000	0.000
			排水に供したい	1	9	9		6										6							6	6				1		0.000	0.000
			発電水位・受水槽への揚水	9	9	9	6	9		6	6	6	1										6		6	6							0.000	0.000
			冷温水の循環	9	9	3	6	9					6										6		6	6							0.000	0.000
			加圧動力源としての活用	1				6			9					6		9															0.000	0.000
			50・60Hz で共用したい	3				6															1										0.000	0.000
			赤水を防止したい	9													3		9		1									1			0.000	0.000
			配管荷重に耐える	6															9		6												0.000	0.000
			配管から外さずに分解・点検したい	6														9		9													0.091	0.545
			インラインで使用したい	6																					9	1							0.000	0.000
	環境要求	使用素材を低減する	原材料物質利用の低減	9								6						9	9			9	6				9	6	9	1	6		0.082	0.734
			小型、軽量化	6														9	9				6					6	1				0.040	0.243
			加工品の歩留まり向上	6															9			9	6	6			9		9		1		0.075	0.449
		ユーティリティー節約	電気使用量の削減	9			9																9	6	1	1			6	1			0.032	0.289
		省資源である	潤滑油が長持ちする	6			6																					6	1	1			0.059	0.351
			梱包材が削減できる(耐輸送振動など)	6														6	1	9			9				9		9				0.115	0.692
		安全・無公害に使える(人体に悪影響がない)	据付性が良い	1														9	6						6	1							0.020	0.020
			騒音・振動が少ない	6				1										1	6						9	9							0.002	0.011
		信頼性が高い	故障が少ない	9								6							6								0		0				0.000	0.000
		メンテナンス性がよい	メンテナンスに必要な資材が少ない	6								6							9			6	6	6			9	6	9		1		0.074	0.446
			汎用保守部品が用意されている	6								3							9				1	1			9	6	1		1		0.093	0.561
			給油・油・フィルター交換が少ない	6															9				6	9			6	6	9	1	1		0.078	0.470
			分解性がよい	9														6		6			1				6	9	1		1		0.123	1.104
		長寿命である	塗装が長持ち	6								1							9					9			1		0	6			0.008	0.048
			稼動寿命が長い	9								1															6	1	9				0.174	1.562
		廃棄の容易性	有害物質の含有量が少ない	6															1		6		1	6			9	1	6	9	1		0.081	0.486
			解体性がよい	6														1	6	6		1	1				6		1				0.104	0.622
案 1 の工学的尺度の改善率				0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.048	0	0.133	0	0	0	0	0	0	0	0.209	0.107	0.176	0	0.194	合計値	
																																	1.26	8.67

表 4.20　案 2 の顧客要求に対する改善

QFDE フェーズⅣ				顧客重要度	工学的尺度(品質特性)																	環境側面工学的尺度(環境品質特性)										顧客要求に対する改善率	顧客要求に対する改善効果
					吐出し量	全揚程	回転数	効率	比較回転数(比速度)	吸込み圧力	吐出し圧力	NPSH	シール部からの漏れ量	揚液温度	揚液密度	揚液粘度	蒸気圧力	揚液の液質	質量	材質	体積(全体サイズ)	想定耐久時間	切粉量	CO_2排出量	揮発性有機化合物排出量	振動	騒音	リサイクル率	分解時間	最終処分量	有害有毒性(発癌性)	材料種別数		
					m^3/min	m	rpm	%	(無単位)	MPa	MPa	m	cm^3/h	℃	kg/m^3	Pa・s	Pa	pH	kg	無次元	m^3	h	kg	kg	kg	db	db	%	h	kg	kg PAH-Equiv.	個(無次元)		
顧客要求	ポンプの用途、稼働状況等に起因する顧客要求		一般給水に供する	9	9	9	6	9	1	6	6	6	1	1	1	1	3	1	1	1			1	9	1	6	6	1					0.012	0.106
			粘度の高い液体を輸送したい	1	9	9	6	9	1	6	6	6	3	9	9	9	9	3	1	1			1	9	1	6	6	1					0.023	0.023
			固形物を含む液体を輸送したい	1	9	9	6	6	1	6	6	6	3	3	9	9	3	9	1	1			1	9	1	6	6	1					0.025	0.025
			指定された流量で送液する	1	9	9	6	6	1	6	6	6	1	1	1	1	1	1	1	1			1	9	1	6	6	1					0.012	0.012
			キャビテーションを防止	3					1	9		9					9	6				9											0.048	0.145
			排水に供したい	1	9	9		6										6								6	6				1		0.000	0.000
			発電水位・受水槽への揚水	9	9	9	6	9		6	6	6	1										6			6	6						0.013	0.116
			冷温水の循環	9	9	3	6	9					6										6			6	6						0.106	0.953
			加圧動力源としての活用	1				6			9					6		9															0.000	0.000
			50・60Hz で共用したい	3				6															1										0.000	0.000
			赤水を防止したい	9														3		9		1								1		0.088	0.791
			配管荷重に耐える	6																9		6										0.159	0.954
			配管から外さずに分解・点検したい	6														9		9												0.000	0.000
			インラインで使用したい	6																						9	1					0.000	0.000
要求品質	環境要求	使用素材を低減する	原材料物質利用の低減	9									6						9	9			9	6				9	6	9	1	6	0.091	0.823
			小型、軽量化	6															9	9				6					6	1			0.032	0.194
			加工品の歩留まり向上	6																9			9	6	6			9		9		1	0.020	0.122
		ユーティリティー節約	電気使用量の削減	9				9																9	6	1	1			6	1		0.000	0.000
		省資源である	潤滑油が長持ちする	6				6																					6	1	1		0.000	0.000
			梱包材が削減できる(耐輸送振動など)	6														6	1	9				9				9		9			0.003	0.016
		安全・無公害に使える(人体に悪影響がない)	据付性が良い	1														9	6							6	1						0.030	0.030
			騒音・振動が少ない	6				1										1	6							9	9						0.026	0.154
		信頼性が高い	故障が少ない	9									6						6									0		0			0.506	4.550
		メンテナンス性がよい	メンテナンスに必要な資材が少ない	6									6						9				6	6	6			9	6	9		1	0.110	0.662
			汎用保守部品が用意されている	6									3						9					1	1			9	6	1		1	0.119	0.716
			給油・油・フィルター交換が少ない	6															9					6	9			6	6	9	1	1	0.021	0.128
			分解性がよい	9														6		6				1				6	9	1		1	0.000	0.000
		長寿命である	塗装が長持ち	6									1						9						9			1		0	6		0.073	0.438
			稼動寿命が長い	9									1															6	1	9			0.053	0.476
		廃棄の容易性	有害物質の含有量が少ない	6															1			6		1	6			9	1	6	9	1	0.037	0.224
			解体性がよい	6														1	6	6			1	1				6		1			0.030	0.182
案 2 の工学的尺度の改善率					0	0	0	0	0	0	0	0	0.9	0	0	0	0	0	0	0.111	0	0.231	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	合計値	
																																	1.64	11.84

4.4　建設機械への適用事例

4.4.1　背景

本分科会では、環境適合設計のツールである QFDE（環境品質機能展開）の機械工業分野への適用可能性を検証している。昨年度は、機械工業分野の中で比較的代表的な製品であるポンプを例に取りあげて、QFDE の部分的な適用を試み、有効性を示した。しかしながら、機械工業分野にはポンプ以外にも種々多様な製品が存在するため、環境適合設計手法としての QFDE を一層の普及を図るためには、他の製品へ適用し、有効性の検証だけでなく、それを通じた問題点の洗い出しも必要である。

4.4.2　目的と作業項目

ここでは、建設機械分野の製品を取り上げて、QFDE の有効性の検証を行ない、同時に問題点の洗い出しを行うことを目的とする。

そのために、次の 3 項目を行った。

① 例題の選定

② QFDE のフェーズ I、II を実施する

③ 考察

4.4.3　実施作業結果

4.4.3.1　対象機械の説明

今回の QFDE を実施する対象製品の選定に当たっては、㈳建設機械化協会の協力を得た上で、次の 4 点を考慮した。

① 市場で広く普及している。

② 国内の建設機械メーカ各社が生産している。

③ 比較的各社の情報が集めやすい。

④ 結果が他の類似製品へ適用しやすい。

以上より，建設機械としてもっとも普及している油圧ショベルの中で、生産量も多い方で，比較的各社の情報が集め易く、解析結果を上下のクラスの製品にも適用し易い、11 t クラスの油圧ショベルを対象製品とすることとした、油圧ショベルは、掘削、積込み、整地、吊り作業が可能で汎用性が高いが、11 t クラスは、一般土木作業以外にも、都市土木（低騒音型）、砕石、砂利採取（強化型）、解体（安定性＋強化型）と利用分野が広い。

4.4.3.2　フェーズ I の結果

表 4.22 にフェーズ I の結果を記す。

環境要求は、昨年度の機械工業分野の製品一般に対して列挙したもの（昨年度の報告書に記載）の

内、油圧ショベルに関連するものを選んだ。**表 4.22** の要求欄の下部に示されている。また顧客要求は、油圧ショベルに対して比較的一般的に挙げられるものを列挙した。なお、中古車価格が高いという顧客要求が挙げられているが、これは売り払う時の価格が高いということを指し、コストとは直接関係はない。

顧客重要度は、その重要性を鑑みた上で 0, 1, 3, 6, 9 の 5 段階で設定した（数値の大きい方が重要性が高い)。関連度（要求と工学的尺度の関連性の強さ）についても 0, 1, 3, 6, 9 の 5 つから選んで設定した。(ただし、0 は記載しない)

フェーズ I の結果得られた工学的尺度の内、重要度をグラフで**図 4.6** に記す。

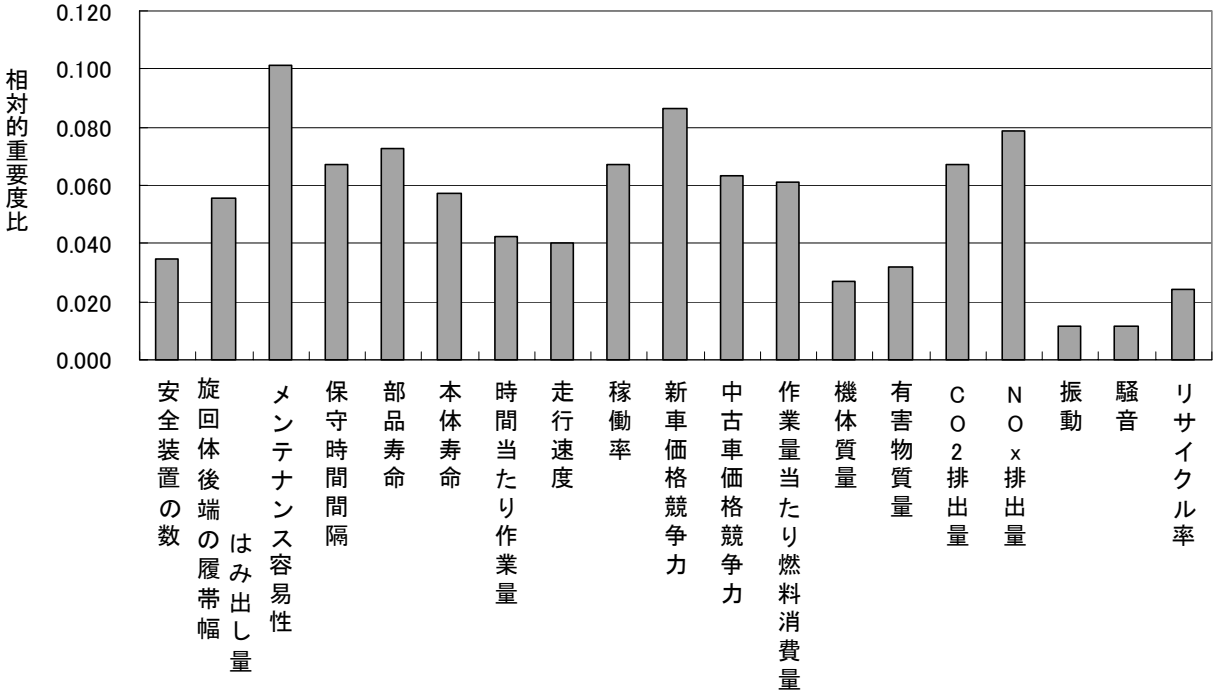


図 4.6　工学的尺度に対する重要度

フェーズ I の結果として、工学的尺度の内、重要度の高いものは、メンテナンス容易性、新車価格競争力、NOx 排出量であることが示されている。

一方、環境側面の要求及び工学的尺度を考慮しない場合のフェーズ I の結果を**図 4.7** に記す。

表 4.22　油圧ショベルの環境品質機能展開図（フェーズⅠ）

QFDE フェーズⅠ			顧客重要度	従来の工学的尺度											環境側面に対する工学的尺度							
				安全装置の数	旋回体後端の履帯幅はみ出し量	メンテナンス容易性	保守時間間隔	部品寿命	本体寿命	時間当たり作業量	走行速度	稼働率	新車価格競争力	中古車価格競争力	作業量当たり燃料消費量	機体質量	有害物質量	CO_2排出量	NO_x排出量	振動	騒音	リサイクル率
			個	個	m	円/h	h	h	h	m^3	km/h	%	円	円	L/m^3	kg	kg	kg/m^3	kg/m^3	dB	dB	重量%
顧客要求	基本性能	時間当たり作業量が多い	9		6	6	6			9			6		9			9	9			
		多機能である	9		3	6	6						6									
		走行速度が速い	6		3	6	6			6	9				3	3		3	3			
		故障が少ない	9			6	6	6	6			9	6	6								
		価格競争力が有る	9	6									9									
		中古車価格が高い	6					6	6					9								
	安全・快適	騒音・振動が少ない	9					3	3		6		6									
		危険要因のない設備、作業、火災防止	6	9	9				3													
		簡単に操作できる	9	6	6					6			6		6			3	6			
		点検整備（メンテナンス）が容易	9		6	9		6				6	6	6								
環境要求	省エネ	エネルギー効率が高い、省エネモード等付	9								3	6			9	3		9	9			
	省資源	小型､軽量化	9			6				3	6				6	9		6	6	6	6	3
		稼動寿命が長い	9			6		6	9			6		9								
		交換部品寿命が長い(短寿命部品を使わない)	9			6	9	9	6			6		6								
		リサイクル実効率が高い	9														3					9
	環境保全	排気がきれい	9															6	9			
		有害物質を含まない材料	9														9					
		解体・廃棄処理が容易	1														6					6
		消耗品廃棄物が少ない	6			6	6	6				3										
		有害油脂類の不測時のもれを防止	6														6					

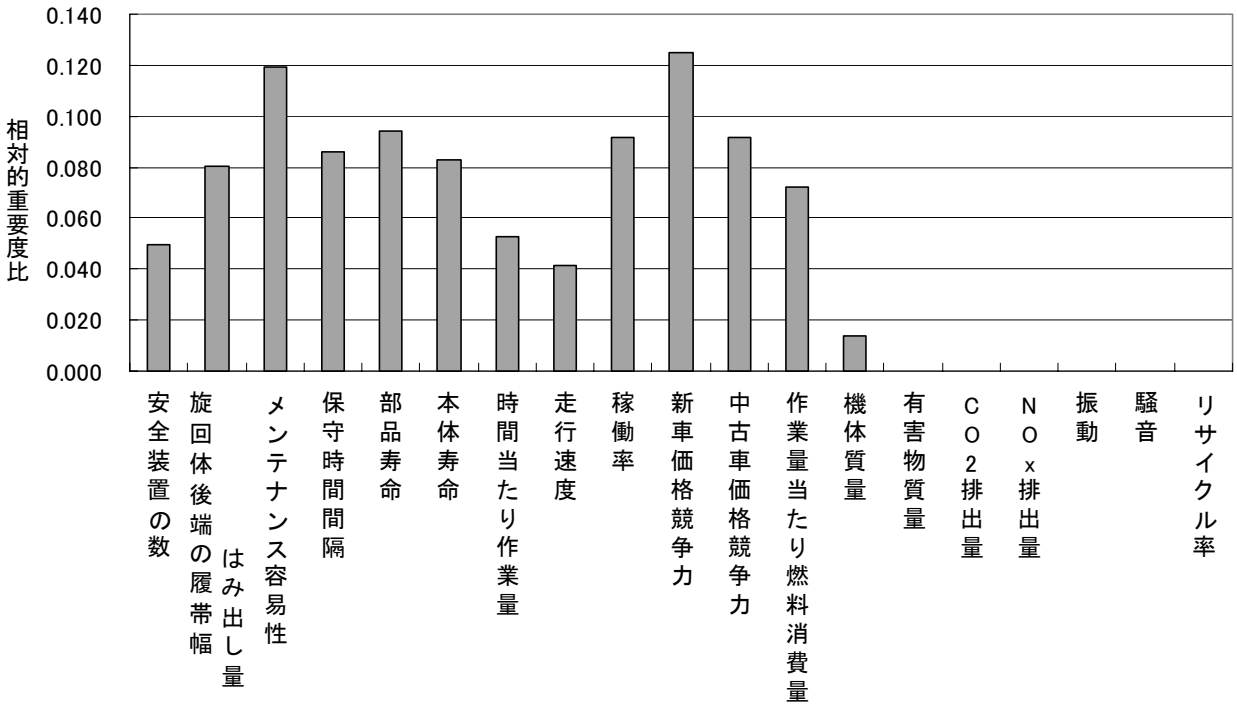


図 4.7　環境側面を考慮しない場合の工学的尺度に対する重要度

工学的尺度の内、重要度の高いものは、新車価格競争力、メンテナンス容易性、部品寿命であった。

以上の結果から、環境側面を考慮することによって、メンテナンス容易性の重要度の順位が 2 位から 1 位へと上がっている。これはメンテナンス容易性が、小型・軽量化、稼動寿命が長い、交換部品寿命が長い(短寿命部品を使わない)、消耗品廃棄物が少ないという環境側面の要求と関連を持っていることによる。

さらに環境側面の考慮の有無の双方の場合の重要度の比を**図 4.8** に示す。設計者は環境側面を考慮しない場合よりも機体質量により焦点を当てて設計すべきであるとの示唆が得られる。これは機体質量が、エネルギー効率が高い（省エネモード付など)、小型・軽量化という環境側面の要求と関連を持っていることによる。

また、走行速度は環境側面の工学的尺度を追加しても重要度が約 97%であり、項目が増えたことを考慮すれば、従来から考慮されていた工学的尺度の中での相対的な重要度は高くなっている。これも走行速度が省エネルギーなどの環境要求と関連を持っていることによる。

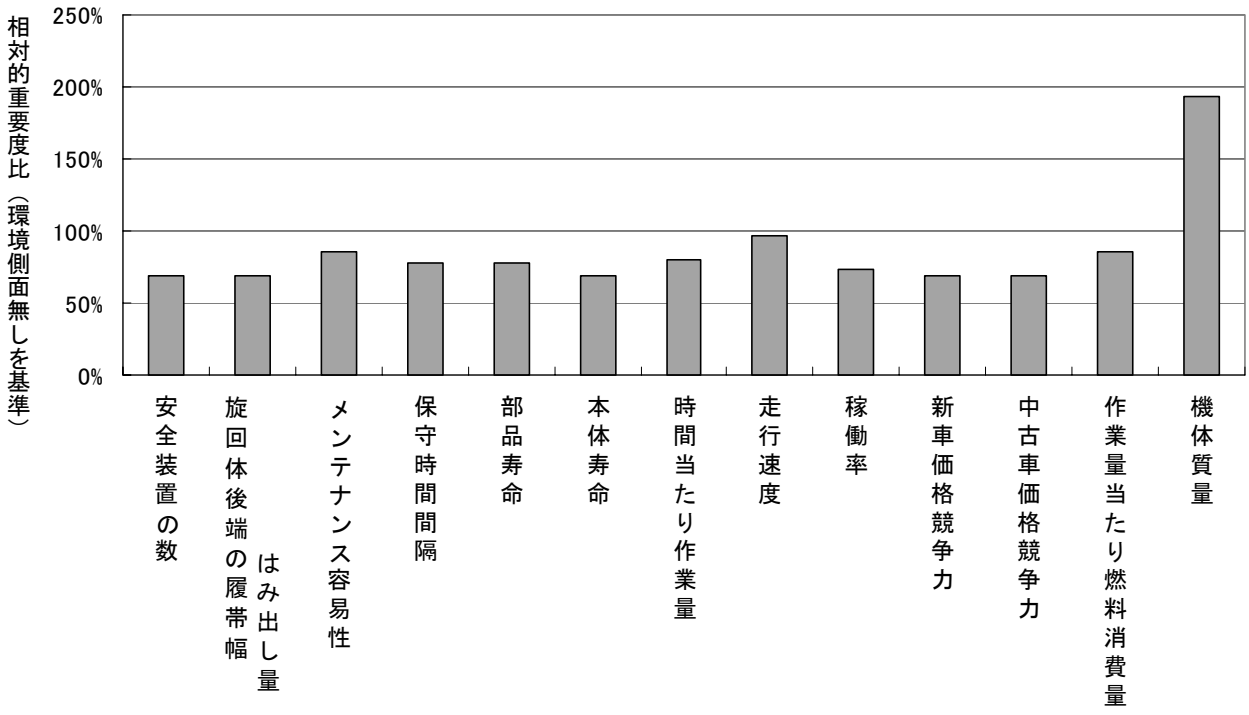


図 4.8　環境側面を考慮した場合の重要度の変化

4.4.3.3　フェーズ II の結果

表 4.23 にフェーズ II の結果を記す。

コンポーネントは、油圧ショベルを構造的に大別して 8 個のものを列挙した。関連度（要求と工学的尺度の関連性の強さ）についてはフェーズ I と同様に、1，3，6，9 の 4 つから選んで設定した。

フェーズ II の結果として、コンポーネントの内、重要度の高いものは、「エンジン」、「油圧ポンプ・バルブなど」、「作業機」であった。重要度のグラフを**図 4.9** に示す。

環境側面の要求及び工学的尺度を考慮しない場合には、**図 4.10** に示すようにコンポーネントのうち、重要度の高いものは、環境を考慮する場合と同様に、「エンジン」、「油圧ポンプ・バルブなど」、「作業機」であった。

環境側面の考慮の有無の双方の場合の重要度の比を**図 4.11** に示す。設計者は環境側面を考慮しない場合よりもカウンターウエイト、エンジンにより焦点を当てて設計すべきであるとの示唆が得られる。カウンターウエイトは、リサイクル率に強い関連を有し、エンジンは有害物質量、CO_2 排出量、NOx 排出量に強く関連していることが原因である。

表 4.23　油圧ショベルの環境品質機能展開図（フェーズⅡ）

																					総得点	相対的重要度
11t油圧ショベル	作業機		作業機		3		6	6	6	6	9		3	3	3	6	6	3			3	3	6	3.76	0.13
	上部旋回体	キャビン	コントローラ・操作系		3		3	6	1	3	6		6	3	3	6	1	9			3	3	1	2.93	0.10
			内装（防音・防振）		6		3	3	1	1	3		3	9	9		1	3			6	6	1	2.80	0.10
		旋回ユニット	旋回ユニット		6	6	6	6	3	3	3		3	3	3	3	3	3			3	3	6	3.29	0.11
		カウンターウエイト	カウンターウエイト		1	9	3	3	1	1	1	3	3	1	1		9	9			9	9	9	2.64	0.09
	パワーユニット	エンジン	エンジン				9	9	9	9	9	9	6	9	9	9	1	9	9	9	9	9	1	7.58	0.26
		油圧ポンプ・バルブ等	油圧ポンプ・バルブ等		3		3	3	9	9	9	9	6	3	3	9	1	3			3	3	1	4.14	0.14
	下部走行体		下部走行体				3	1	1	3	3	3	3	3	3	3	6	1			1	1	6	2.06	0.07
				相対的重要度	0.034	0.056	0.101	0.067	0.073	0.057	0.042	0.040	0.067	0.086	0.063	0.061	0.027	0.032	0.067	0.078	0.011	0.011	0.024		
				総得点	162	261	477	315	342	270	198	189	315	405	297	288	126	150	315	369	54	54	114		
					従来の工学的尺度											環境側面に対する工学的尺度									
					安全装置の数	旋回体後端の履帯幅はみ出し量	メンテナンス容易性	保守時間間隔	部品寿命	本体寿命	時間当たり作業量	走行速度	稼働率	新車価格競争力	中古車価格競争力	作業量当たり燃料消費量	機体質量	有害物質量	CO_2排出量	NO_x排出量	振動	騒音	リサイクル率		
				顧客重要度	回	mm	円/h	h	h	h	m^3	km/h	%	円	円	L/m^3	kg	kg	kg/m^3	kg/m^3	dB	dB	重量%		
顧客要求	基本性能		時間当たり作業量が多い	9		6	6	6			9			6		9			9	9					
			多機能である	9		3	6	6						6											
			走行速度が速い	6		3	6	6			6	9				3	3		3	3					
			故障が少ない	9			6	6	6	6			9	6	6										
			価格競争力が有る	9	6									9											
			中古車価格が高い	6					6	6					9										
	安全・快適		騒音・振動が少ない	9					3	3		6		6											
			危険要因のない設備、作業、火災防止	6	9	9				3															
			簡単に操作できる	9	6	6					6			6		6			3	6					
			点検整備（メンテナンス）が容易	9		6	9		6				6	6	6										
環境要求	省エネ		エネルギー効率が高い、省エネモード等付	9								3	6			9	3		9	9					
	省資源		小型、軽量化	9			6				3	6				6	9		6	6	6	6	3		
			稼動寿命が長い	9			6		6	9			6		9										
			交換部品寿命が長い（短寿命部品を使わない）	9			6	9	9	6			6		6										
			リサイクル実効率が高い	9														3					9		
	環境保全		排気がきれい	9															6	9					
			有害物質を含まない材料	9														9							
			解体・廃棄処理が容易	1														6					6		
			消耗品廃棄物が少ない	6			6	6	6				3												
			有害油脂類の不測時のもれを防止	6														6							

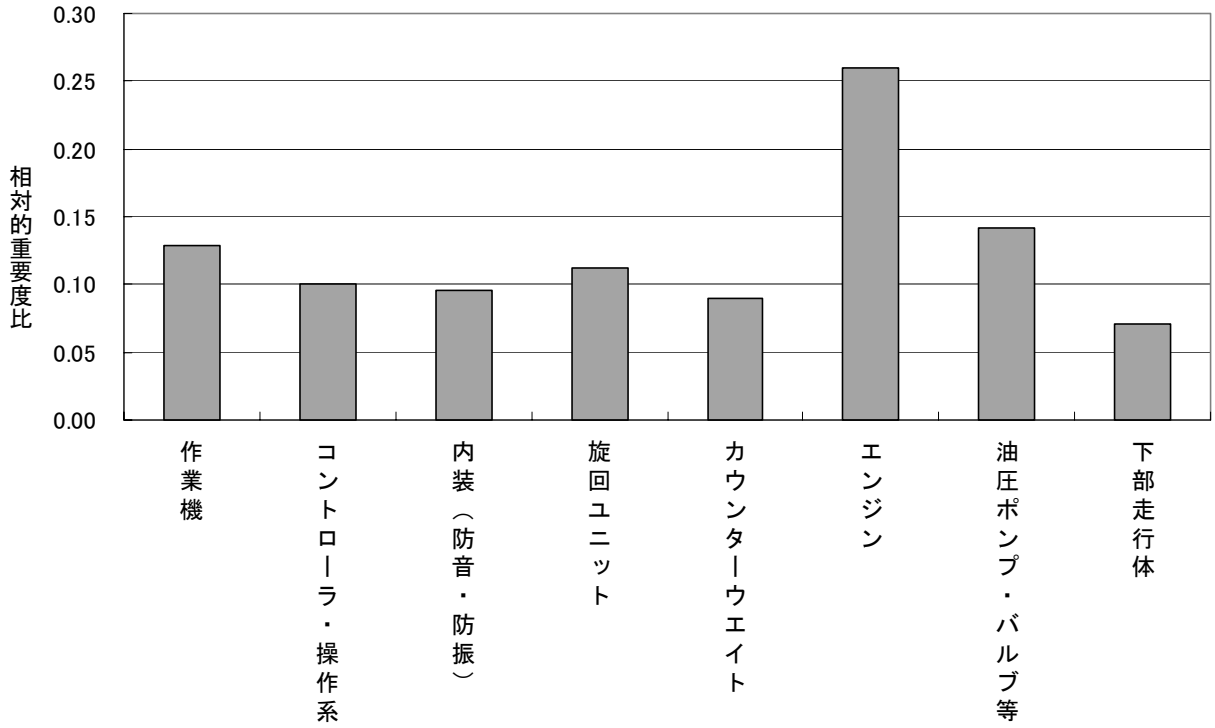


図 4.9　コンポーネントに対する重要度

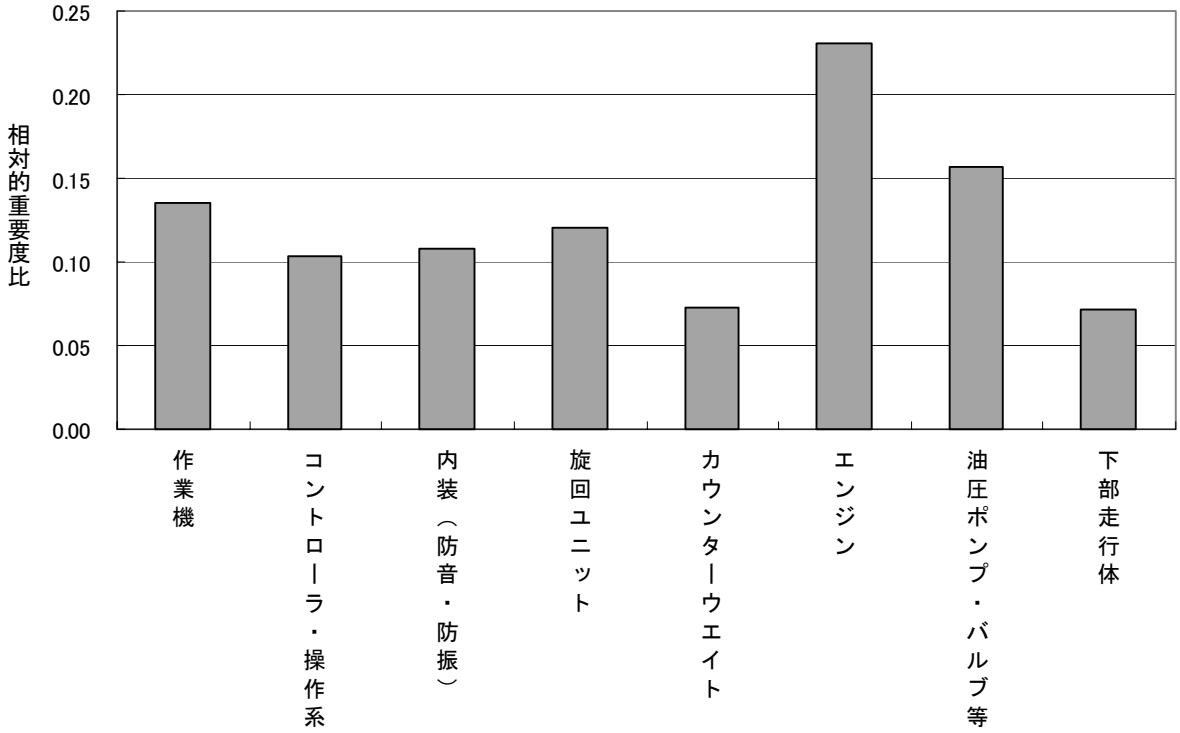


図 4.10　環境側面を考慮しない場合のコンポーネントに対する重要度

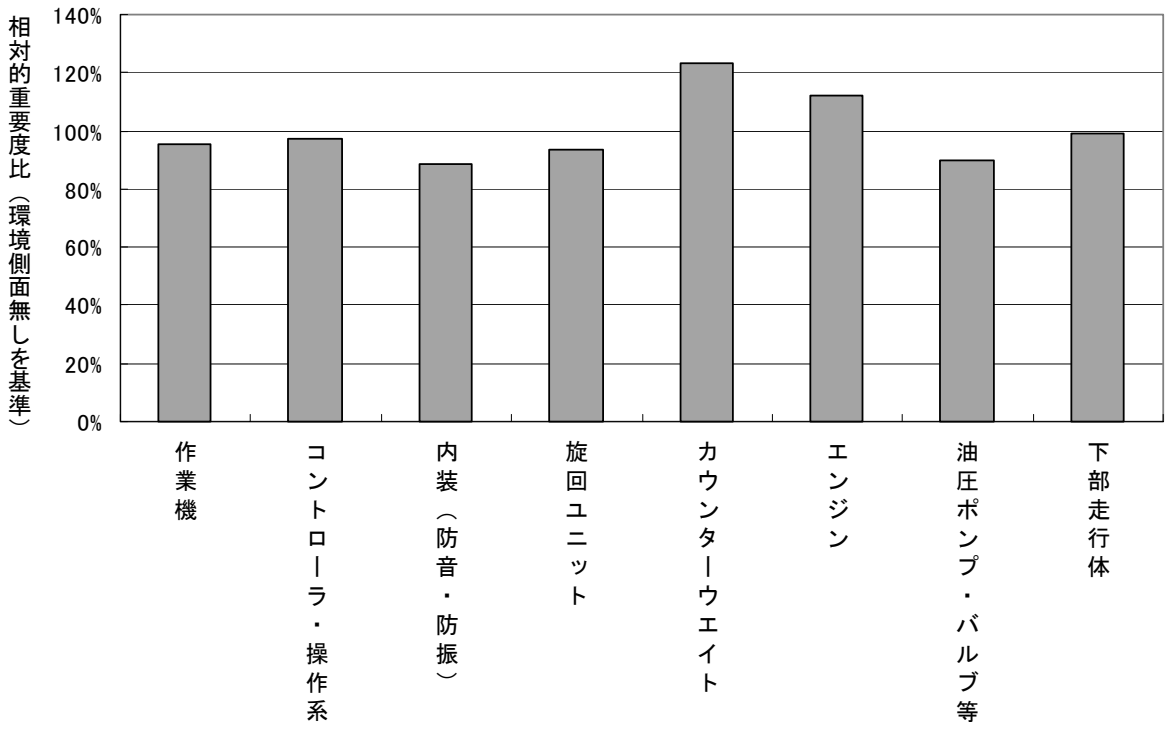


図 4.11　環境側面を考慮した場合の重要度の変化

4.4.4　考察とまとめ

以上に QFDE を建設機械へ適用した結果を示した。得られた結果は設計者にとって違和感のないものであり、QFDE が建設機械へ適用可能性を有することが判った。ただし、ここで示した適用事例は、適用可能性の検証に重点を置いたため、QFDE の項目は数が多くならないよう配慮した。実際の製品設計に適用する際にはより詳細な項目を設定することによって、より詳細なアウトプットを得るものと考えられる。以下に考察を述べる。

「価格競争力が有る」という顧客要求が挙げられているが、これは価値／価格が大きいということを指している。これは製品開発において環境要求を追加する際にコストを度外視してまでも実施するという行為が一般的ではなく、それを間接的にせよ反映させる手段として入力されていることに、ある程度の合理性はあると考える。ただし、この要求は究極的にはすべての顧客要求を統合して表現したものになっており、実際に QFDE を適用する場合の要求としては、より具体的なものにするべきである。

同様に、工学的尺度として挙げられている新車価格競争力、中古車価格競争力は、QFDE の実際の利用時にはより具体的なパラメータに置換または分解されるべきものである。

今後は具体的な改善案を作成し、QFDE のフェーズ III、IV を適用することが課題として挙げられる。また、㈳建設機械化協会では環境配慮設計のマニュアル“建設機械の環境負荷低減技術指針（平成 14 年)”をすでに作成している。今後は、そのマニュアルの環境要求項目を利用して QFDE を実施し、有効な環境適合設計のための知見を得ることなどが課題として挙げられる。

4.5　QFDE と LCA の比較

4.5.1　背景

本分科会では昨年度から本年度にかけて、多段遠心ポンプを例題に QFDE 手法の適用を行なった。また、本年度、油圧ショベルに対して QFDE を適用した。これらを通じて、機械工業分野の 2 つの製品事例に対して、QFDE の適用可能性を検証したことになる。QFDE の手法はほぼ固まっているものの、応用という面から見ればまだ研究段階にあると言える。よって、先に述べたように QFDE の機械工業分野の製品への適応事例を示すだけではなく、QFDE の適用結果の妥当性を担保しておくことも不可欠である。

4.5.2　目的と作業項目

ここでは、QFDE の適用結果を同一製品に対する LCA の適用結果と比較することによって、QFDE の結果の妥当性を検証すると同時に、QFDE の特長を明らかにすることを目的とした。手法の比較対象として LCA を選んだのは、

① 共に環境適合設計のためのツールであり、互いに相互補完的な役割を持っていること
② 手法が規格化されており、広く認知されていること
③ QFDE と比べ、LCA は定量的な手法であること

であるからである。

そのために、次の 4 項目を行った。

① QFDE の実施結果を整理する
② ①で対象としたのと同一の製品の LCA の実施結果を整理する
③ ①と②の双方の結果を比較する
④ QFDE の特徴をまとめる

4.5.3　実施作業結果

4.5.3.1　対象機械の説明

今回の QFDE と LCA の試行の対象とした製品は多段遠心ポンプ[1),2)] である。外観、仕様などは次の通りである。(外観は**図 4.12** 参照)

用途：

① 一般給水・揚水　　② 工業用水の給水
③ ボイラ給水　　④ 散水

特徴：

① 案内羽根のないボリュートポンプ(回転羽根だけで遠心力を支える低揚程・大流量用に適したポンプ。ボリュートとは、螺旋または巻き紙の飾りを意味し、”うず巻き”とも呼ばれる。)。吐出し量の広い範囲にわたって高い効率が得られる。
② 構造が簡単なため、長年の使用に耐え、不快な騒音がない。

③　軸受に密封玉軸受を採用し、給油の必要がなく、保守が容易。

標準仕様

機　種	MS ポンプ
取扱液	清水　0～80℃
構　造	羽根車；クローズド形
	軸封；グランドパッキン
	軸受；密封玉軸受
材料	ケーシング；FC200
	羽根車；SUS304：口径 40、50
	主軸；S35C
電動機	相･極数；三相･4 極
	電圧；200V
	形式；防滴保護型
設置場所	屋内

図 4. 12　ＭＳポンプ

4. 5. 3. 2　QFDE の結果

⑴　フェーズ I、II の結果

結果の詳細は **4. 3 項**を参照されたい。すでに表に QFDE フェーズ I、II の結果を示した。フェーズ I の結果として、工学的尺度の内、重要度の高いものは、材質、CO_2 排出量、リサイクル率の順であった。フェーズ II の結果として、部品特性のうち重要度の高いものは、「ケーシングの材料」、「軸封の材料」、「羽根車の材料」、「羽根車の直径」、「ケーシングの段数」であった。部品の材料が相対的に重要であるということが示されている。

⑵　フェーズ III、IV の結果

フェーズ III において、ケーシングの重量削減という改善案を設定した場合のフェーズ IV の結果を**表 4. 24** に示す。高い改善率をもたらす顧客要求は順に次の通りであった。

・配管から外さずに分解・点検したい
・据付性が良い
・小型､軽量化
・分解性が良い

表 4.24　ケーシングの重量削減の顧客要求に対する改善

環境要求	顧客 重要度	顧客要求 に対する改善率	顧客要求 に対する改善効果
一般給水に供する	9	0.002	0.020
粘度の高い液体を輸送したい	1	0.002	0.002
固形物を含む液体を輸送したい	1	0.002	0.002
指定された流量で送液する	1	0.002	0.002
キャビテーションを防止	3	0.000	0.000
排水に供したい	1	0.000	0.000
発電水位・受水槽への揚水	9	0.000	0.000
冷温水の循環	9	0.000	0.000
加圧動力源としての活用	1	0.000	0.000
50・60Hzで共用したい	3	0.000	0.000
赤水を防止したい	9	0.000	0.000
配管荷重に耐える	6	0.000	0.000
配管から外さずに分解・点検したい	6	0.097	0.581
インラインで使用したい	6	0.000	0.000
原材料物質利用の低減	9	0.025	0.224
小型、軽量化	6	0.056	0.337
加工品の歩留まり向上	6	0.000	0.000
電気使用量の削減	9	0.000	0.000
潤滑油が長持ちする	6	0.000	0.000
梱包材が削減できる(耐輸送振動など)	6	0.027	0.162
据付性が良い	1	0.079	0.097
騒音・振動が少ない	6	0.007	0.045
故障が少ない	9	0.000	0.000
メンテナンスに必要な資材が少ない	6	0.000	0.000
汎用保守部品が用意されている	6	0.000	0.000
給油・油・フィルター交換が少ない	6	0.000	0.000
分解性がよい	9	0.039	0.348
塗装が長持ち	6	0.000	0.000
稼動寿命が長い	9	0.000	0.000
有害物質の含有量が少ない	6	0.000	0.000
解体性がよい	6	0.009	0.053

4.5.3.3　LCA の結果

LCA の実施結果を説明する。

⑴　設定から影響評価までの結果

システムバウンダリの設定は、ポンプのライフサイクル（製造、使用、リサイクル、廃棄段階）である。

それぞれの金属を対象とする際、解体･カットオフ（金属加工時に発生する切粉）・原料製造時に発生するスクラップを合計し、資源としてインプットする。

鉄系材料の場合は 100％リサイクル、その他の金属は 50％リサイクルするものとした。リサイクル品はバージン材（新しい材料）として製造段階にインプットされるものとし、その分、バージン材製造で発生する環境負荷が回避（マイナス）されるものとして LCA を実施した。システムバウンダリとして設定したポンプのライフサイクルを**図 4.13** に示す。

ポンプの使用条件は次のものとする。

評価対象ポンプ

① 荏原製作所製　多段遠心ポンプ 40MS 型

② 標準要項(吐出し量は、標準要項の 80％、揚程は 95％とする。)

吐出し量　　0.15m³／min×0.8

揚程　　35m×0.95

③ 消費電力 (出力の 0.8 倍とする。)

標準要項を満たす時の出力　　2.2kW

消費電力　　2.2kW×0.8

④ 稼働時間

8 時間×220 日×15 年=26400 時間

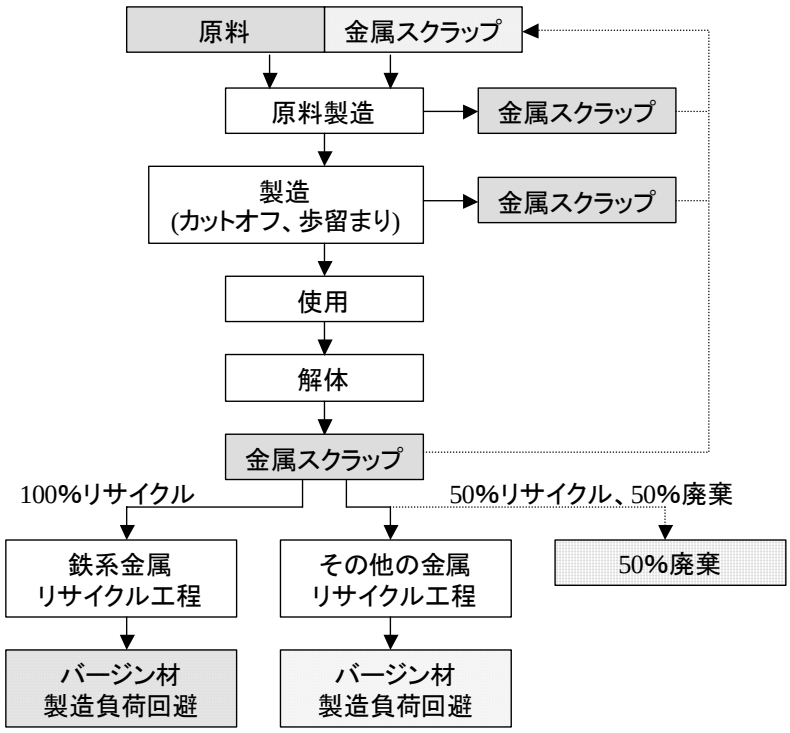


図 4.13　ポンプのライフサイクル

ここでは、市販の汎用 LCA ソフトウエア(Gabi Ver.3)を利用して LCA を実施した。クラシフィケーション、キャラクタリゼーション(特性化)は LCA ソフトウェア Gabi の持つ原単位を使用し、ノーマリゼーション(正規化)にはエコインジケーター95 の手法[3)] を用いた。

次に LCA 結果の概略の例を**図 4.14** 及び**表 4.25** に示す。

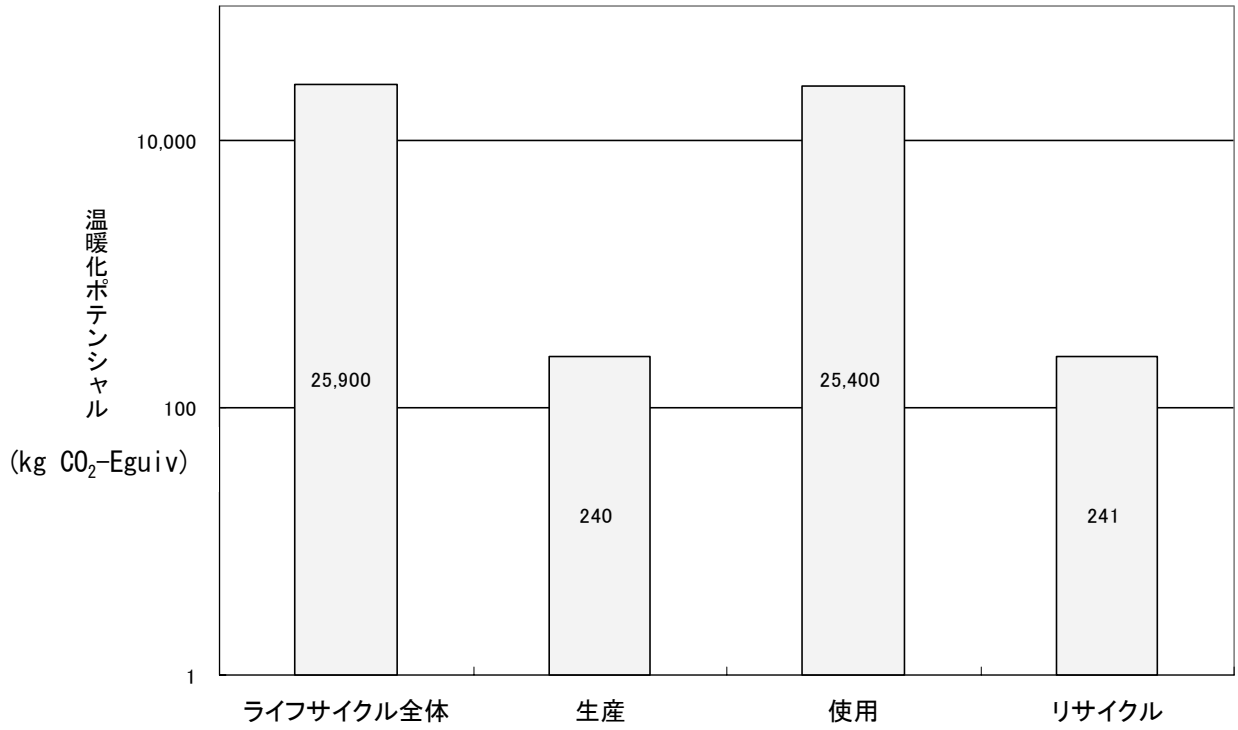


図 4.14　対象製品の LCA の結果例(1)；温暖化カテゴリのキャラクタリゼーション結果

表 4.25　対象製品の LCA の結果例(2)；エコインジケータ 95 を適用した正規化結果

環境カテゴリ	合計	ライフサイクル段階別		
		生産	使用	リサイクル
温暖化	4.9	0.05	4.8	0.05
酸性化	13.9	2.9	9.9	1.1
富栄養化	254.5	246.7	1.0	6.8
光化学オキシダント	2.3	0.1	2.1	0.01
冬のスモッグ	5.0	0.6	4.4	0
発ガン物質の排出	38.4	19.6	18.3	0.5

(2)　簡便な感度分析結果

上記の製品に対して、ケーシングの重量を 10%削減した場合を想定して LCA を行ない、重量削減前の製品の場合と各インパクトカテゴリの評価値を比較した。重量の削減は具体的には、本報で前述した QFDE のコンポーネントのうち、ケーシングに相当する部分の重量を 10％削減す

ることによって行った。結果を**表 4. 26** に示す。「現行製品」カラムは、10%削減する前つまり対象製品の評価結果を示す。「重量減した製品」カラムは、10%削減した場合の評価結果を示す。「割合」は両者の比である。「感度」カラムは次の式により求めた。感度が大きいことは、ケーシングの重量削減が影響を与える度合いが大きいということを指す。

［感度］＝ ［ 1－（割合）］ ／ ［0.1］

表 4. 26　ケーシングの重量を 10%削減した場合の結果

環境カテゴリー	単位	現行製品	重量減した製品	割合	感度
Acidification potential	[kg SO2-Equiv.]	1.57E+02	1.56E +02	99.36%	6.42%
Aquatic ecotoxicity potential	[kg DCB-Equiv.]	3.81E+04	3.68E +04	96.53%	34.69%
Carcinogenic substances	[kg PAH-Equiv.]	4.18E -02	4.11E -02	98.26%	17.37%
Eutrification potential	[kg Phosphate-Equiv.]	1.94E+03	1.88E +03	96.55%	34.52%
Global warming potential	[kg CO2-Equiv.]	2.59E+04	2.59E +04	99.98%	0.19%
Human toxicity potential	[kg DCB-Equiv.]	1.67E+06	1.62E +06	96.89%	31.15%
Photochemical oxidant potential	[kg Ethene-Equiv.]	1.64E+01	1.63E +01	99.68%	3.18%
Terrestrial ecotoxicity potential	[kg DCB-Equiv.]	7.19E+06	6.97E +06	96.99%	30.12%
Winter smog	[kg SO2-Equiv.]	9.45E+01	9.42E +01	99.64%	3.62%

これによって、ケーシング重量の削減は次に大きな効果があることを示している４)。

・Aquatic ecotoxicity potential（水圏生態系毒性能）

・Human toxicity potential（人への毒性能）

・Terrestrial ecotoxicity potential（陸生生態系毒性能）

これは、資源採取から素材製造段階までの間に、毒性に関する環境影響ポテンシャルの割合が高いことを示している。

4. 5. 3. 4　QFDE と LCA の結果の比較

⑴　重要部品の比較

ここではまず、製品を構成するコンポーネントに対する重要度評価の比較を行った。QFDE においてはフェーズ II においてその結果が得られる。**表 4. 27** の「環境要求と顧客要求」のカラムに QFDE のフェーズ II における結果を示し、「環境要求のみ」のカラムには顧客要求を除外した場合の QFDE フェーズ II における結果を示した。両者において大きな差はないが、LCA の評価結果には顧客要求が含まれていないため、LCA との比較は顧客要求を除外し、環境要求のみを考慮した場合の部品重要度と行われるべきである。

一方、今回は LCA の結果をコンポーネントに割り当てた。ただし、LCA はデータの積算方法が原則としてプロセスベースであるため、環境負荷を部品に割り当てることが困難である場合がある。例えば、最終製品へのアセンブリ段階、使用段階、使用後の分解段階である。最終製品への

アセンブリ段階の環境負荷は LCA の結果、他に比べて小さく無視可能であったため、ここでは無視した。使用段階は手法が存在しないためここでは考慮しなかった。**表 4.27** には環境カテゴリーごとに、コンポーネントに起因するものを割合で示した。

参考のために、各コンポーネントの質量のポンプ全体に示す割合を記載した。なお、質量の合計が 100%に満たないのは、これら以外に部品が存在するためである。

表 4.27　LCA と QFDE の結果の比較

項目 / コンポーネント	質量	LCAの結果						QFDEの結果	
								環境要求のみ	環境要求と顧客要求
		製造エネルギー	地球温暖化	酸性化	富栄養化	発癌物質の排出	冬のスモッグ	部品重要度	部品重要度
ケーシング	40%	40%	39%	34%	37%	36%	36%	22%	23%
羽根車	3%	11%	11%	6%	0%	0%	18%	23%	26%
軸	3%	2%	3%	1%	1%	1%	3%	17%	17%
軸受	6%	6%	6%	4%	5%	5%	6%	7%	7%
軸封	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	11%	7%
ベース	20%	19%	18%	18%	19%	19%	17%	4%	4%
電動機	23%	22%	23%	36%	39%	38%	21%	15%	17%

表 4.27 に示される数値を次のように考察する。まず、QFDE で重要とされているが、LCA ではそれほど重要とされていないものとして、羽根車、軸、軸封がある。この原因を分析する。第一に、これら 3 つは、QFDE における工学的尺度の「想定耐久時間」に特に関連が強いと設定されている。一方 LCA においては、寿命決定に影響を与えるコンポーネントが何であるかという情報は、評価結果に全く反映されず、結果として LCA の結果をコンポーネントに割り当てた**表 4.27** の結果には反映されない。第二に、LCA からのコンポーネントの重要度はコンポーネントの質量に強く影響を受けるが、QFDE における重要度などの設定は作業者の半定量的な情報に基づいて行われる。その結果、質量は小さいが機能的に果たしている役割が必ずしも小さくないコンポーネントは、QFDE からの評価では重要度が大きくなる。

逆に「ベース」は LCA で重要とされているが、QFDE ではそれほど重要とされていない。これは、上記で述べたように質量と果たしている役割の大きさの割合が大きく異なることによる。

⑵ **改善効果の比較**

ケーシングの重量を削減した場合、効果が大きいものは**表 4. 28** のように得られた。LCA からは素材を製造するプロセスにおける環境影響への効果が示される一方で、QFDE ではそれらに対応する環境要求項目つまり毒性影響を小さくしたいという要求が挙げられていなかったことが第一の原因として挙げられる。逆に QFDE からは、重量が軽減されることによって、メンテナンスなどのプロセスの負担が軽減されることが示されている。

表 4. 28　ケーシングの重量を削減した場合に得られる効果の比較

ＬＣＡ結果の分析から	ＱＦＤＥ結果の分析から
・　水生生態系への毒性影響 ・　人間への毒性影響 ・　陸生生態系への毒性影響	・　配管から外さずに分解・点検したい ・　据付性が良い ・　小型､軽量化 ・　分解性が良い

4. 5. 3. 5　QFDE の特徴

4. 5. 3. 4 項の結果から、LCA に対して QFDE が有する特徴を次のようにまとめる。

⑴ **コンポーネントの役割を半定量的に表現**

コンポーネントが果たしている機能的な役割を通じた環境影響を表現できる。例えば、ポンプの軸封はその質量が小さいため、LCA の結果からは重要度が高いと判断されないが、その果たしている機能的な役割が大きいため、QFDE の結果からは重要度が高いと判断される。これは設計者が製品を環境側面において改善する際に大きな情報源となると考えられる。

逆に、半定量的に表現することの欠点もある。一般的に半定量的な評価では、環境影響の正確な把握の妨げになる可能性がある。

⑵ **製品寿命に影響を与える要因を表現**

製品全体の寿命決定に影響を与える要因を表現できる。これによって、設計者が製品の長寿命化を実現するための手段に関する情報を得ることができる。例えば、ポンプの中で軸封が製品全体の寿命に大きな影響を与えると認識されており、QFDE においてもそのように表現されている。一方で LCA においては、製品全体の寿命は単位時間当たりの環境負荷を算出することにより考慮することができるが、製品のどの部分を改善すれば寿命を延ばすことができるかについては情報を与えてくれない。

⑶ **メンテナンス等の LCA では表現容易ではない部分を表現**

メンテナンスなどの段階は、LCA においては一つのプロセスとして表現できる。しかし、そのプロセス内でのインプットやアウトプットが捕らえられても、なぜメンテナンスが必要なのかという点や、その作業において重要な役割を果たしている要因は表現できない。QFDE ではそのよ

うな情報を表現できる。例えば、ケーシングの重量を削減するとメンテナンスの容易性を高めることなどが表現できる。これも上記 **(2) 項**と同様に、設計者が製品を改善するための手段に関する情報を得ることができる。

⑷ マーケティングと接続性が良い

QFD の基幹をなす情報の一つが顧客要求であり、QFDE では顧客要求と並列する形で環境要求を扱う。その結果マーケティング結果を容易に取り込み易い。**3.4 項**で示した事例でも設計改善の結果を環境要求への効果という形で表現できている。

4.5.4 まとめ

4.5 項では多段遠心ポンプを例題にして、LCA の結果と比較することによって QFDE の特徴を明らかにした。その結果、QFDE は、設計者が製品を改善するために、より有益な情報を提供することが判った。ただし、QFDE では顧客要求と環境要求及びそれらの重みが重要な入力情報であるため、それらの適切な与え方については、今後、更なる検討を要する。また、本作業に対する実際の設計・開発者のコメントやニーズを収集し、分析することも課題として考えられる。

＜参考文献＞
1）新版ポンプ – その設備計画･運転･保守、社団法人日本機械学会、1985
2）入門･機械＆保全ブックス ⑤ ポンプの本、日本プラントメンテナンス協会、1994
3）LCA 日本フォーラム報告書、LCA 日本フォーラム・社団法人産業環境管理協会、1997
4）有毒物質の LCA インパクト･アセスメント、松崎早苗、1997、産業環境管理協会

4.6 まとめ

⑴ 本年度の成果のまとめ

本年度の WG１の活動の結果として次の成果を得た。

(ｉ) 環境要求と環境影響との関係を明らかにし、QFDE がより実践的で利用しやすいツールとなるよう整備を行った（SWG1)。

(ii) LCA と比較することによって、QFDE の出力が妥当性を有することを明らかにし、また QFDE は設計者が製品に対して改善を施すためにより具体的な情報を提供するなどの特徴を有することを明らかにした（SWG２)。

(iii) 多段遠心ポンプへ適用することによって、QFDE フェーズ III、IV の有効性を検証した（SWG３)。

(iv) 建設機械（油圧ショベル）へ適用することによって、QFDE フェーズ I、II の更なる有効性を検証した（SWG４)。

以上は次のように分類できる。

・QFDE の利用可能性拡大のための整備（SWG1）

・QFDE の手法としての特徴の確認（SWG２）

・QFDE の適用可能性の確認（SWG３、4）

今後は各々の要素を組み合わせながら、QFDE については更に検討を深めていくことが有効と考えられる。

⑵ 環境設計プロセス標準化への展開

平成 14 年度及び本年度の調査研究によって、環境適合設計において QFDE というツールが機械工業分野において適用可能であることを重点的に明らかにした。同時に、本年度の SWG1 において QFDE を行なう前の段階の製品開発に関連する作業の支援、本年度の SWG２において他のツールである LCA との連携について検討を行った。これらの調査研究を通じて、環境適合設計を適用する設計プロセスの全体を検討するための素地ができと考えられる。

一方、環境適合設計の標準化に関しては、ISO の TR や EU 指令においても設計プロセスの標準化までは検討されていない。機械製品設計と一言でいっても、対象によって性質が異なる部分が多々あることが理由の 1 つであろう。本分科会は機械工業分野の製品に対象を絞っているため、設計プロセスを標準化する試みも可能性を有すると考えられる。

⑶ 実際の設計プロセスでの QFDE の活用展開方法

本調査研究においては、環境適合設計において QFDE というツールが機械工業分野において適用可能であることを明らかにしてきた。また、環境適合設計の評価・支援ツールとして LCA も取り上げて手法に関して検討を行なった。ここでは、実際の設計現場において QFDE 及び LCA を活用する際の課題を次に挙げる。

(ⅰ) 新規の製品への適用について

多段遠心ポンプ及び油圧ショベルという分野の異なる製品への適用可能性を検証したが、機械工業分野の他の製品に適用する際には、環境要求や環境側面の工学的尺度について列挙するという作業が必要となる。環境要求については、平成 14 年度に汎用的なセットを作成したため、それから選び出す作業だけで良いが、環境側面の工学的尺度については他の実施事例を参考にしながら列挙する必要がある。

(ⅱ) 他のツールとの連携について

まず、製品設計の全体の中で QFDE と LCA の利用について述べる。一般的な設計プロセスを役割の明確化、概念設計、実体設計、詳細設計と分類すれば、QFDE は最も上流の役割の明確化の段階、LCA は下流の詳細設計で利用される（**図 4. 15** 参照）。QFDE は、製品開発の最上流段階においてそれ以降に製品を設計する上で指針とも言える情報を作成する。一方 LCA は製品の詳細な定量情報が得られた段階で製品の環境側面のプロファイルを作成することができる。

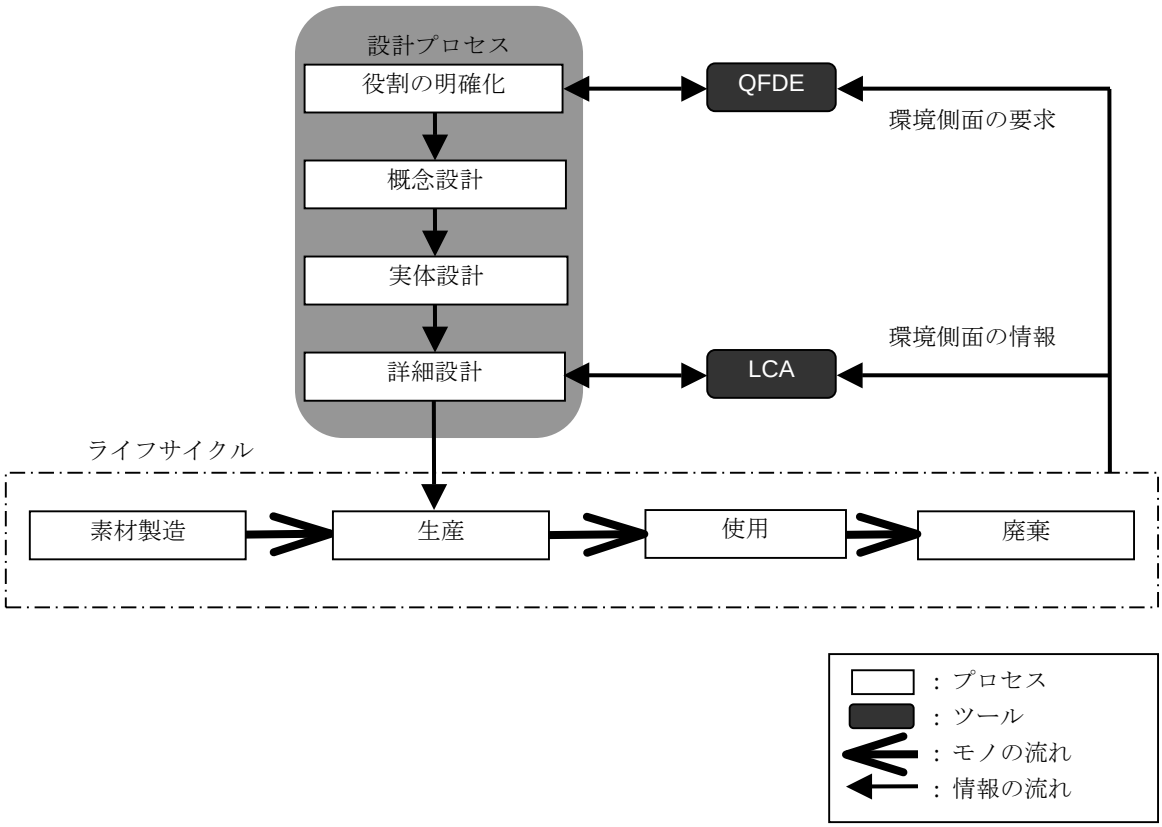


図 4.15　ＱＦＤＥとＬＣＡの設計における利用フェーズ

以上に述べたように QFDE や LCA の適用される部分以外の設計プロセスは、概念設計、実体設計があり、それらの段階で利用されている設計支援ツールも多々ある。実際に製品設計の現場で QFDE や LCA を使う場合には他のツールとの関連を踏まえた検討を行う必要がある。

QFDE と LCA の利用方法に限ってみても、LCA の結果を次世代製品の「役割の明確化」段階で行う QFDE に反映させる方法は今後の検討課題である。また、上記で述べてきた LCA は ISO で規格化された詳細な LCA を想定している。そのような詳細な LCA でなくとも Streamlined LCA と呼ばれる重要な部分に焦点を当てた LCA であれば、より上流の段階で実施することが可能であり、その場合の QFDE との組合せの方法についても今後の検討課題である。実際の設計現場においては、モデルチェンジで製品の総重量や基本構造がそれほど変わらないような場合には，前モデルの製品の LCA 結果を利用してモデルチェンジの企画段階で LCA を精度良く実施することが行われることもある。例えば車載用エンジンの改良の場合、エンジンのデータのみを部分的に変更することで、車輌の CO_2 や有害排気ガスの排出量を精度良く推定することが可能である。

また、QFDE は製品の適用対象について特に限定はしないため、工業機械分野の製品一般に広く適用可能性があると考えられる。ただし、QFDE を 4 章で示した以外の製品に適用する場合、顧客要求、工学的尺度について適切なリストアップを行なう必要があることを指摘しておく。第 4 章では QFDE の実施結果のみを示し、実施途中の詳細なプロセスは説明していないが、項目のリストアップについてもノウハウ的な情報が必要である。また、マトリックスの値を入力するためにも環境に関する広範な知識が必要である。

5. まとめと今後の課題

環境適合設計の標準化に関わる検討は、電気電子分野が先行してきたが、これは大量消費財の地球環境に与える影響を考えれば当然のことであり、製品の特性上リサイクル性などを主眼においた環境適合設計標準化が進んだことはうなづける。

一方、生産財である機械の設計開発では、従来から省エネルギー設計や小型化、消耗品の長寿命化などが、製品競争力向上のために行われていた。そして、これこそが現時点においても環境適合設計の最善の手となるべきものである。機械工業界の設計技術者の方々は、環境適合設計が従来の設計目標と本質的に整合的なものであることを前提に若干の周辺領域への配慮を行ってもらうのが望ましい。これが、本報告書の一貫した主張であり、結論である。

近年の環境適合設計標準化の動きを総攬し、欧州工業界の動きを見守ると、機械工業分野独自の環境適合設計に関する理論武装が必要である。本報告書では、第 2 章でこれら標準化動向を解説するとともに、生産財としての工作機械の環境負荷を LCA で洗い直し、工作機械は環境にやさしい製品群であり、省エネルギー、省資源、メンテナンス容易性など従来の設計目的に合致した取組みが環境適合設計の中核となっていることを示した。さらに、機械の環境パフォーマンスを示す指標として製造する製品の二次的影響を配慮し、資源生産性の指標を導入することが提言された。

第 3 章では、第 2 章の流れをうけて、機械工業分野向けの代表的な環境適合設計評価項目を明らかにした。これらが、大量消費財を基調とした 3R 型のとりまとめにはなっていないのは、まさに機械技術者のウェイティングの結果であり、生産財としての機械の特徴を配慮したものとなっている。実際、ライフサイクルでみた機械の著しい環境側面は、「据付時の環境影響」、「使用時のエミッション」、「使用時の資源消費」、「メンテナンス作業における環境負荷」であり、これは電気電子製品分野とは大幅に異なるものである。本報告書では、これらの評価項目に対するアンケートを行ったが、これは本文でも述べたように、項目利用者の項目取捨選択に資する情報提供のためである。これらの評価項目は、「製品の設計仕様決定」、「QFDE の環境要求抽出」、「環境適合設計のためのチェックリスト」、「製品のデザインレビュー」、「工業会、各企業並びに機械工業会全体の環境適合設計指針作成」などに活用できるものと考える。ただし、環境適合設計の国家標準、国際標準を作成する際には、機械工業会の技術者のみならず、広く社会への透明性の配慮、並びに経営層を取り込んだ環境マネジメントシステムとの関係性などが必要である。

さて、第 4 章では、QFDE が環境適合設計評価・支援ツールとして、機械工業分野で適用可能であることを示し得たことが大きな成果である。また、LCA と QFD の方法論的違い、すなわち、QFDE は、「コンポーネントの機能的役割を通して環境影響を表現可能」、「製品寿命に影響を与える要因を表現可能」、「メンテナンスなど LCA では困難な部分を表現可能」という特徴が明らかになった。マーケティングとの接続が容易であることも加味すれば、今後 QFDE を正しく普及することは重要と考えられる。ただし、一方で機械工業分野の製品設計は過去に蓄積されたノウハウが膨大にあり、新たな設計支援ツールが入り込む余地は少ない、あるいは、顧客の声が多様である との批判もあった。むしろ、設計における環境側面の重視ということを契機に、この種の科学的設計支援ツールの導入を図るべきなのではないかと考える。第 4 章のもう一つの成果は、技術者の把握する環境要求をマネジ

メントレベルに展開するという、新たな試みである。これにより、環境法規への対応、組織の責任と環境適合設計の技術目標の連携がとれることになり、上述した国家規格レベルの議論への橋渡しも可能になったように考える。

以上、機械工業界の技術者の立場から環境適合設計標準化活動に資する情報提供を行うという所期の目的は、有害物質の排除に関わる領域を除いて、概ね達したものと自負する。さらに、技術者とマネジメントないしは、社会をどのように繋ぐかという方法論についても、QFDE を上流にさかのぼるという方向性を示すことができた。

残された課題は、社会的には機械工業界独自の環境適合設計指針を作る標準化作業であるが、これは各工業会などで検討が進行中である。一方、研究調査としては、設計のプロセス全体に如何に環境適合設計のツールを溶け込ませるか、実際の設計の手順全体の再構築が今後の課題である。本研究は報告書冒頭に述べたように、実質的には 3 年間を費やし、LCA、DfE 支援ソフト、QFDE などを集中的に検討してきた。しかし、これ以外にも ISO TR 14062 で指摘されている FMEA、指摘はされていないが、設計プロセス全般への有効性が示されている、タグチメソッド、TRIZ など評価対象となる設計横断型管理技術も数多い。これらを俯瞰的に評価し、将来の機械工業界の環境適合設計プロセスをどのように変えてゆくべきなのかを明らかにすることが将来に残されているのである。

この事業は、競輪の補助金を受けて実施したものです。

15環境・安全

環境適合設計手法の標準化に関する調査研究

〈平成 15 年度事業 環境適合設計手法標準化分科会報告書〉

平成 16 年 3 月

発　行　社団法人　日本機械工業連合会
東京都港区芝公園 3－5－8　機械振興会館
電話　03(3434)5383

印　刷　三協印刷株式会社
東京都目黒区目黒本町 5－20－7
電話　03(3793)5971

※禁無断転載